



SKRIPSI – ME141501

ANALISIS TEKNO EKONOMI PENGGUNAAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA SEBAGAI PENGGERAK UTAMA KAPAL DAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK HYBRID (SEL SURYA DAN DIESEL GENERATOR) PADA PERENCANAAN KAPAL TANKER 1700 DWT

IRMA APRILLIA ROSWINDHA
NRP 4213 100 079

Dosen Pembimbing
Ir. Agoes Achmad Masroeri, M.Eng., D.Eng

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017



FINAL PROJECT – ME141501

ECONOMIC TECHNO ANALYSIS USING THREE PHASE INDUCTION MOTORS AS THE MAIN DRIVER OF SHIP AND HYBRID POWER GENERATION SYSTEM (SOLAR CELL AND DIESEL GENERATOR) ON THE PLANING OF THE TANKER SHIP1700 DWT

IRMA APRILLIA ROSWINDHA
NRP 4213 100 079

Consulting Lecturer:
Ir. Agoes Achmad Masroeri, M.Eng., D.Eng

DEPARTEMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF OCEAN TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2017

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS TEKNO EKONOMI PENGGUNAAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA SEBAGAI PENGGERAK UTAMA KAPAL DAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK HYBRID (SEL SURYA DAN DIESEL GENERATOR) PADA PERENCANAAN KAPAL TANKER 1700 DWT

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi *Marine Electrical and Automation System* (MEAS)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknoogi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

IRMA APRILLIA ROSWINDHA
NRP 4213 100 079

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

Ir. Agoes Achmad Masroeri, M.Eng., D.Eng

()

SURABAYA
JULI, 2017

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS TEKNO EKONOMI PENGGUNAAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA SEBAGAI PENGGERAK UTAMA KAPAL DAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK HYBRID (SEL SURYA DAN DIESEL GENERATOR) PADA PERENCANAAN KAPAL TANKER 1700 DWT

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi *Marine Electrical and Automation System* (MEAS)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknoogi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

IRMA APRILLIA ROSWINDHA
NRP 4213 100 079

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:




Dr. Eng. M. Badruz Zaman, S.T., M.T
NIP. 1977 0802 2008 01 1007

SURABAYA
JULI, 2017

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

**ANALISIS TEKNO EKONOMI PENGGUNAAN MOTOR INDUKSI TIGA
FASA SEBAGAI PENGGERAK UTAMA KAPAL DAN SISTEM
PEMBANGKIT LISTRIK HYBRID (SEL SURYA DAN DIESEL GENERATOR)
PADA PERENCANAAN KAPAL TANKER 1700 DWT**

Nama Mahasiswa : Irma Aprillia Roswindha
NRP : 4213 100 079
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. A. A. Masroeri, M.Eng., D.Eng

ABSTRAK

Penggunaan motor induksi tiga fasa sebagai penggerak utama kapal dan sistem pembangkit listrik *hybrid* (sel surya dan diesel generator) merupakan salah satu alternatif pengganti sistem penggerak konvensional yang saat ini masih banyak diterapkan pada kapal-kapal di Indonesia. Penggunaan motor induksi tiga fasa sebagai penggerak utama kapal dan sistem pembangkit listrik *hybrid* (sel surya dan diesel generator) ini guna mendukung pengembangan teknologi kapal ramah lingkungan ditengah maraknya isu *global warming*. Hal ini dikarenakan dengan penggunaan motor induksi tiga fasa sebagai penggerak utama kapal dan sistem pembangkit listrik *hybrid* (sel surya dan diesel generator) dapat mengurangi konsumsi bahan bakar pada kapal sehingga dapat mengurangi emisi gas buang dari kapal khususnya kapal tanker. Selain itu juga dalam rangka memanfaatkan potensi sinar matahari Indonesia yang melimpah, agar tidak tebuang sia-sia. Sehingga sinar matahari dapat dimanfaatkan dengan tujuan lebih ramah lingkungan.

Pada penulisan tugas akhir ini akan dikaji secara teknis dan ekonomis mengenai penggunaan motor induksi tiga fasa sebagai penggerak utama kapal dan sistem pembangkit listrik *hybrid* (sel surya dan diesel generator). Analisis teknis dan ekonomis dilakukan dengan membandingkan penggunaan motor induksi tiga fasa sebagai penggerak utama kapal dan sistem pembangkit listrik *hybrid* (sel surya dan diesel generator) dengan sistem konvensional yang saat ini masih digunakan pada kapal-kapal di Indonesia.

Dari hasil penelitian, diketahui bahwa dengan penggunaan motor induksi tiga fasa sebagai penggerak utama kapal dan sistem pembangkit listrik *hybrid* (sel surya dan diesel generator) di kapal berpengaruh pada penghematan konsumsi bahan bakar di kapal, dalam perencanaan kapal tanker 1700 DWT penghematan konsumsi bahan bakar yaitu sebesar 4,8% per tahun. Biaya antara sistem konvensional dan sistem baru mencapai nilai yang sama pada 4,5 tahun setelah sistem dilakukan, dengan nominal sebesar RP. 60.000.000.000.

Kata kunci : Motor induksi tiga fasa, *hybrid*, sel surya, generator, kapal tanker.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

ECONOMIC TECHNO ANALYSIS THE USE OF THREE PHASE INDUCTION MOTORS AS THE PRIME MOVER OF SHIP AND THE HYBRID POWER PLANT SYSTEM (SOLAR CELL AND DIESEL GENERATOR) ON THE PLAN OF THE TANKER SHIP1700 DWT

Student Name : Irma Aprillia Roswindha
NRP : 4213 100 079
Departement : Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS
Consulting Lecturer : Ir. A. A. Masroeri, M.Eng., D.Eng

ABSTRACT

One of the alternative as prime mover of ship is using three-phase induction motors as well as the source of power plan systems is using hybrid systems (solar cells and diesel generators). Where this systems support the development of environmentally friendly ship technology amid widespread of global warming issue. Because, the systems can reduce the ships fuel oil consumption and make reducing emissions. In addition, in order to exploit the potential of Indonesia's abundant sunshine, so as not to waste in vain. So that sunlight can be utilized with the aim of more environmentally friendly.

In this final project will be studied technically and economically about the use of three phase induction motor as the prime mover of ships and the hybrid power plan systems (solar cells and diesel generators). Technical and economic analysis is done by comparing the use of three phase induction motors as the prime mover of ships and the hybrid power plan systems (solar cells and diesel generators) with conventional systems that are still used in ships in Indonesia.

From the results of the research, it is known that the use of three phase induction motor as the prime mover of ships and the hybrid power plan systems (solar cells and diesel generators) in the vessel have an effect on the fuel consumption savings on the ship, in the planning of tanker 1700 DWT fuel consumption savings ie 4.8% per year. The cost between the conventional system and the new system reaches the same value at 4.5 years after the system is performed, with a nominal RP. 60,000,000,000.

Keywords : Three phase induction motor, hybrid, solar cell, generator, tanker.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

KATA PENGANTAR

Segala Puji Syukur penulis panjatan ke hadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan ridho serta lindungan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul "Analisis Tekno Ekonomi Penggunaan Motor Induksi Tiga Fasa Sebagai Penggerak Utama Kapal dan Pembangkit Listrik *Hybrid* (Sel Surya dan Generator) Pada Kapal Tanker 1700 DWT" ini tepat pada waktunya. Tugas akhir ini adalah sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Tugas akhir ini bukanlah yang paling sempurna, penulis meyakini masih ada kesalahan yang bersumber dari keterbatasan ilmu penulis. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih bagi para pembaca yang berkenan memberikan saran dan kritikan atas berbagai kekurangan tersebut. Penulis berharap ada diantara para pembaca yang bisa melakukan penelitian lanjutan mengenai permasalahan yang penulis angkat dalam penulisan tugas akhir ini.

Pada akhirnya, semoga tugas akhir ini bukan hanya sebagai formalitas untuk mencapai kelulusan sebagai Sarjana Teknik, namun dapat juga bermanfaat bagi yang membacanya.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Allah SWT dan Rasulullah Muhammad SAW, penulis panjatkan puji syukur atas terselesaikannya Tugas Akhir ini. Serta tidak lupa penulis sampaikan rasa terima kasih yang mendalam kepada:

1. Ir. Agoes Achmad Masroeri, M.Eng., D.Eng selaku dosen pembimbing yang telah memberikan masukan materi dan motivasi selama penulis mengerjakan Tugas Akhir ini.
2. Dr. Eng. M. Badruz Zaman, S.T., M.T. selaku dosen wali yang telah banyak membimbing penulis disetiap semesternya dalam perkuliahan dan selaku Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
3. Ir. Sardono Sarwito, M.Sc. sebagai Kepala Laboratorium "*Marine Electrical and Automation System (MEAS)*" atas diijinkannya penulis mengerjakan Tugas Akhir ini di laboratorium tersebut.
4. Adi Kurniawan, S.T., M.T. atas segala bantuannya baik masuk materi maupun motivasi kepada penulis sampai Tugas Akhir ini selesai.
5. Almh. Ibu Elly Rosyidah, *this is for you mom.*
6. Mereka yang selalu memberikan dukungan semangat dan do'a yang tak pernah putus untuk terselesaikannya Tugas Akhir ini: Bapak Soewandi dan Bunda Reni (orang tua) serta saudara-saudarku Mas Didit, Mbak A'yun, Adek Irna, Adek Irza, dan si kecil yang bisa jadi *Mood Boster* Tsabita Adelard Al Aabidah tetaplah menjadi ponakan yang imut dan menggemaskan dek.
7. Irfan Rafsanjani Rudhito, SE. yang selalu menemani di segala keadaan. *Thankyou for everything.*
8. Semua teman-teman angkatan BARAKUDA'13 yang selalu menjadi Barisan Arek SISKAL Ulet, Disiplin dan Amanah. Teman-teman LJ 2014 yang juga berjuang bersama disemester akhir. *See you on top guys.*
9. Semua teman-teman member Laboratorium *Marine Electrical and Automation System (MEAS)* yang selalu memberikan dukungan dan transfer ilmu mengenai dunia kelistrikan.
10. Teman-teman satu bimbingan Pak Masroeri, untuk semangat yang tak pernah putus untuk berjuang bersama menghadapi perihnya Tugas Akhir ini. Adi dan Ali semangat ya desain IV di semester akhirnya nanti.
11. *My Gemblong and My Cempluk* yang selalu menemani dikala mood menulis mulai kacau. Kalian kucing-kucing yang manis dan tidak membosankan. *Love you.*
12. *Thank's to our all my friends in everywhere.*

Serta banyak pihak yang tidak tersebut namanya, percayalah bahwa jasa kalian semua akan selalu penulis ingat.

Surabaya, Juli 2017

Penuli

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR	xiii
UCAPAN TERIMA KASIH	xiv
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUTAKA	5
2.1 Motor Induksi Tiga Fasa.....	5
2.1.1 Bagian-bagian Motor Tiga Fasa	5
2.1.2 Menghitung Besarnya Putaran Medan (Ns)	7
2.2 Sistem Propulsi Elektrik	7
2.4 Sistem Pembangkit Listrik.....	10
2.4.1 Sistem Pembangkit Listrik Diesel Generator	10
2.4.2 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Sel Surya	10
2.4.3 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga <i>Hybrid</i> (Sel Surya dan Diesel Generator)	11
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	13
3.1 Tahapan Pelaksanaan Skripsi	13
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN	17
4.1 Data Kapal	17
4.2 Perencanaan Sistem Propulsi Elektrik	19
4.2.1 Perhitungan Tahanan Kapal	19
4.2.2 Perhitungan Kebutuhan Daya Motor	23
4.2.3 Converter AC-AC.....	26

4.3	Analisis Konfigurasi Sistem Propulsi Elektrik.....	29
4.4	Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Hybrid (Sel surya dan Diesel Generator)	35
4.4.1	Perencanaan penggunaan sel surya	35
4.4.2	Kebutuhan Generator.....	37
4.5	Analisis Ekonomi	38
4.5.1	Perhitungan <i>Initial Cost</i> Sistem Konvensional	39
4.5.2	Perhitungan Biaya Konsumsi Bahan Bakar Sistem Konvensional.....	40
4.5.3	Perhitungan Biaya Operasional Sistem Konvensional	41
4.5.4	Perhitungan <i>Initial Cost</i> Sistem Baru	41
4.5.5	Perhitungan Biaya Konsumsi Bahan Bakar Sistem Baru	42
4.5.6	Perhitungan Biaya Operasional Sistem Baru	43
4.5.7	Analisis <i>Break Even Point</i> (BEP).....	43
4.5.8	Analisis Penghematan Konsumsi Bahan Bakar	45
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		47
5.1	Kesimpulan	47
5.2	Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA		49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Stator	5
Gambar 2.2 Rotor belitan	6
Gambar 2.3 Rotor sangkar tupai	6
Gambar 2.4 Skema sistem propulsi electric	8
Gambar 2.5 Polikristal (Poly-crystalline)	9
Gambar 2.6 Monokristal (Mono-crystalline)	9
Gambar 2.7 Contoh sistem PLTH	11
Gambar 3.1 Diagram alur pengerjaan skripsi	13
Gambar 4.1 General Arrangement	18
Gambar 4.2 LCB Standar	21
Gambar 4.3 Standart tahanan tambahan	22
Gambar 4.4 Diagram blok sistem propulsi elektrik	26
Gambar 4.5 Rangkaian rectifier tiga fasa	26
Gambar 4.6 Gelombang Vinput dan Voutput rectifier	27
Gambar 4.7 Rangkaian inverter tiga fasa tiga lengan	28
Gambar 4.8 Konfigurasi saklar inverter 3 fasa 3 lengan	28
Gambar 4.9 Permodelan konverter PWM	28
Gambar 4.10 Permodelan converter PWM dengan control PID	29
Gambar 4.11 Grafik J-KT	30
Gambar 4.12 Kurva open water test	31
Gambar 4.13 Kurva J-KT B4-100	32
Gambar 4.14 Perpotongan kurva J-KT dengan 10 KQ- η_o	32
Gambar 4.15 Grafik konfigurasi sistem propulsi elektrik	34

Gambar 4.16 Diagram blok perencanaan pembangkit listrik hybrid	35
Gambar 4.17 Penempatan sel surya	35
Gambar 4.18 Panel surya SunPower	36
Gambar 4.19 Baterai	36
Gambar 4.20 Generator	38
Gambar 4.21 Grafik perbandingan biaya operasional sistem konvensional dan baru ...	44
Gambar 4.22 Grafik perpotongan biaya	45
Gambar 4.23 Grafik perbandingan Konsumsi Bahan Bakar	46

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Interpolasi koefisien tahanan sisa.....	20
Tabel 4.2 Wake fraction.....	23
Tabel 4.3 Spesifikasi Motor Listrik	25
Tabel 4.4 Spesifikasi Gearbox.....	25
Tabel 4.5 Nilai KT clean hull dan KT rough hull.....	30
Tabel 4.6 Nilai KT, KQ, dan efisiensi	31
Tabel 4.7 Nilai KT propeller	33
Tabel 4.8 Performa Trial.....	33
Tabel 4.9 Performa service.....	34
Tabel 4.10 Persentase efisiensi.....	34
Tabel 4.11 Perhitungan daya pada panel surya	36
Tabel 4.12 Kebutuhan listrik sistem konvensional	37
Tabel 4.13 Kebutuhan listrik sistem baru.....	37
Tabel 4.14 Rincian Initial Cost Sistem Konvensional	39
Tabel 4.15 Konsumsi Bahan Bakar Sistem Konvensional Per Tahun	40
Tabel 4.16 Rincian Initial Cost Sistem Baru	41
Tabel 4.17 Konsumsi Bahan Bakar Sistem Baru Per Tahun.....	42

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemanasan global (*Global warming*) adalah suatu proses meningkatnya suhu rata-rata atmosfer, laut, dan daratan bumi. Penggunaan bahan bakar fosil merupakan salah satu penyebab *global warming* akibat emisi gas yang dihasilkan dan dibuang ke lingkungan. Dengan semakin maraknya isu lingkungan termasuk di bidang maritim, Komite Perlindungan Lingkungan Kelautan (MEPC) sebagai salah satu unit di Organisasi Maritim Internasional (IMO) telah melakukan revisi terhadap Annex VI MARPOL bagi pengurangan secara bertahap kadar emisi oksida belerang (SO_x), NO_x, serta CO₂ dari kapal. Revisi Annex VI MARPOL tersebut dilakukan dalam rangka mensukseskan peraturan IMO TIER III, dimana untuk kapal dengan mesin diesel generator yang dibangun sejak 1 Januari 2016 dan sesudahnya harus memenuhi kadar emisi NO_x sebesar 3,4 g/kWh serta untuk kapal yang dibangun sebelum tahun 2000 sebesar 17 g/kWh (Wang H, 2014). Bagi semua kapal yang akan memasuki wilayah perairan suatu negara, yang telah meratifikasi Annex VI MARPOL, harus memenuhi standar sesuai peraturan tersebut.

Saat ini berbagai riset telah dilakukan untuk mengurangi emisi gas buang dari kapal, salah satu diantaranya adalah penggunaan motor listrik (Motor induksi tiga fasa) sebagai penggerak utama kapal dan sistem Pembangkit listrik *hybrid* (sel surya dan generator) di kapal. Adapun manfaat dari sistem-sistem tersebut adalah pengurangan dalam pemakaian bahan bakar dan memaksimalkan sumber daya energi yang ada di sekitar sehingga tingkat emisi gas yang biasanya di dihasilkan oleh sistem konvensional perlahan dapat berkurang.

Motor induksi merupakan motor listrik AC yang bekerja berdasarkan induksi medan magnet antara rotor dan stator. Motor induksi fasa tiga adalah jenis motor yang paling umum dijumpai dan digunakan di industri. Karena motor ini mempunyai konstruksi sederhana, kuat, harganya relatif murah dan mudah pemeliharaannya. Kecepatan putarnya konstan, namun karena kecepatannya tergantung pada frekuensi jaringan listrik, sehingga pengaturan kecepatannya sulit dilaksanakan. Tetapi penggunaan piranti elektronik yang sudah semakin luas, sangat membantu untuk pengaturan putaran motor induksi (Sarjan, 2011).

Sistem *Hybrid* adalah sistem pembangkit listrik yang terdiri dari dua atau lebih sistem pembangkit dengan sumber energy berbeda. Misalnya Listrik Tenaga Surya (Photovoltaic, PV) dipadu dengan genset, maka disebut *Hybrid PV-Genset*. Sistem *Hybrid* yang pernah diterapkan di Indonesia adalah: *Hybrid PV-Genset*, *Hybrid PV-Mikrohydro*, *Hybrid PV-Bayu (angin)*, dan bahkan *Hybrid PV-Bayu-Genset*. Didukung dengan letak geografis Indonesia yang berada pada daerah khatulistiwa, maka wilayah Indonesia akan selalu disinari oleh matahari selama 10-12 jam dalam sehari. Di Indonesia penggunaan sistem *hybrid* masih belum tersosialisasi menyeluruh akibatnya masih banyak terdapat kapal-kapal di Indonesia khususnya kapal tanker masih menggunakan sistem konvensional. Sehingga perlu kajian yang mendalam tentang manfaat dan pentingnya sistem *hybrid* agar diharapkan di masa yang akan datang seluruh kegiatan operasional kapal-kapal di Indonesia dapat menggunakan sistem tersebut.

Di Indonesia merupakan salah satu negara yang sedang mengembangkan program *ecoship* yang bekerja sama dengan perusahaan-perusahaan yang ada pada bidang maritim. Sehingga pengembangan untuk penggunaan motor induksi tiga fasa sebagai penggerak utama kapal dan sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* sangat sejalan dengan program tersebut. Oleh karena itu, skripsi ini bertujuan untuk merencanakan penggunaan motor induksi tiga fasa sebagai penggerak utama kapal dan sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* (sel surya dan generator) yang dapat diaplikasikan pada kapal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan Latar belakang tersebut diatas, Rumusan masalah dari Tugas Akhir ini antara lain:

1. Bagaimana pengembangan motor induksi tiga fasa sebagai penggerak utama kapal?
2. Bagaimana pengaruh dari pemanfaatan motor induksi tiga fasa dan sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* (sel surya dan diesel generator) pada konsumsi bahan bakar kapal?
3. Berapa selisih biaya investasi maupun operasional pada kapal antara sistem konvensional dan sistem baru ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Dalam penelitian ini tidak membahas tentang tata letak dari keseluruhan peralatan sistem baik itu sistem konvensional maupun sistem baru.
2. Dikarenakan tidak membahas perihal tata letak, maka stabilitas dari kapal juga tidak diperhitungkan.
3. Pengaruh kecepatan mesin utama (*main engine*) dan motor listrik yang digunakan dalam sistem propulsi elektrik diasumsikan sama.

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui pengembangan motor asinkron tiga fasa sebagai penggerak utama kapal.
2. Mengetahui pengaruh dari pergantian sistem baru ke sistem konvensional pada konsumsi bahan bakar di kapal tanker.
3. Mengetahui selisih dari biaya investasi maupun operasional dengan sistem konvensional dan sistem baru pada kapal.

1.5 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari karya tulis ini secara umum adalah:

1. Mengetahui pemanfaatan motor induksi tiga fasa dapat di aplikasikan sebagai penggerak utama pada kapal.
2. Mengetahui pemanfaatan dari sistem pembangkit listrik tenaga hybrid surya generator diesel pada kapal dapat membantu penekanan biaya investasi dan operasional.
3. Sebagai pengembangan keilmuan pemanfaatan motor asinkron tiga fasa sebagai penggerak utama kapal dan penerapan sistem pembangkit listrik *hybrid* (sel surya dan diesel generator) pada kapal tanker.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB 2

TINJAUAN PUTAKA

2.1 Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi atau bisa kita sebut dengan motor asinkron, pada prinsipnya adalah dipengaruhi juga dengan medan putar, perputaran pada motor induksi (motor AC) ditimbulkan oleh adanya medan putar (Fluk yang berputar) yang dihasilkan oleh kumparan medan pada stator. Medan putar ini biasanya terjadi apabila kumparan stator dihubungkan dalam fasa banyak, umumnya tiga fasa.

Dikatakan sebagai motor induksi karena motor baru bisa bekerja bila konduktor rotor terinduksi oleh medan putar magnet pada stator. Dikatakan motor asinkron karena motor ini bekerja berdasarkan adanya perbedaan antara putaran medan stator (N_s) dan putaran rotor (N_r). Dikatakan motor slip karena motor berputar apabila $N_s > N_r$.

2.1.1 Bagian-bagian Motor Tiga Fasa

Konstruksi motor induksi tiga fasa terdiri atas dua bagian yaitu bagian rotor dan bagian stator. Stator adalah bagian motor yang diam, sedangkan rotor adalah bagian motor yang bergerak atau berputar.



Gambar 2.1 Stator
(Sumber: Sarjan, 2011)

Stator adalah bagian dari mesin yang tidak berputar dan biasanya terletak mengelilingi rotor. Dibuat dari besi bundar berlaminasi dan mempunyai alur-alur sebagai tempat meletakkan kumparan seperti terlihat pada gambar 2.1. Stator bisa berupa gulungan kawat tembaga yang berinteraksi dengan membentuk medan magnet untuk mengatur perputaran rotor. Stator inilah yang dihubungkan langsung ke sumber tegangan tigafasa.

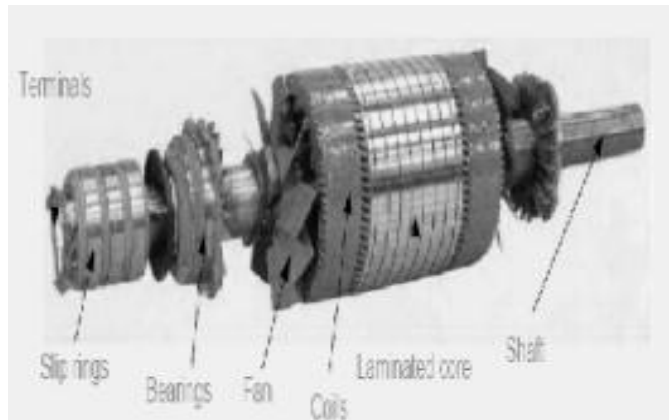
1. Rotor

Rotor adalah bagian dari motor listrik yang berputar pada sumbu rotor. Bagian ini terdiri dari:

- a. Inti rotor
- b. Kumparan rotor
- c. Alur rotor

Perputaran rotor disebabkan karena adanya medan magnet dan lilitan kawat email pada rotor. Sedangkan torsi dari perputaran rotor ditentukan oleh banyaknya lilitan kawat dan juga diameternya.

a. Rotor belitan

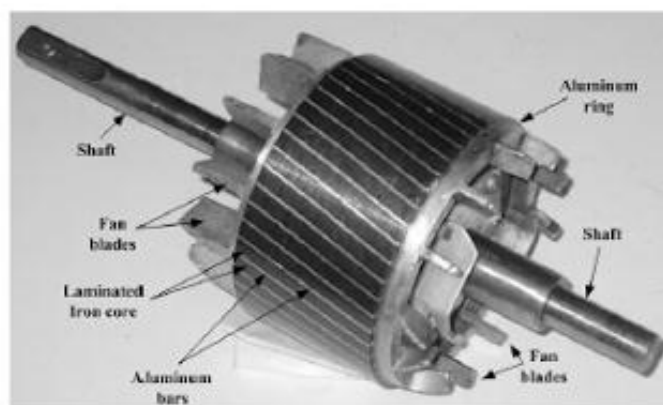


Gambar 2.2 Rotor belitan
(Sumber: Sarjan, 2011)

Motor induksi jenis ini mempunyai rotor dengan belitan kumparan tiga fasa sama seperti kumparan stator. Kumparan stator dan rotor juga mempunyai jumlah kutub yang sama. Rotor yang mempunyai tiga belitan yang mirip dengan belitan stator. Ketiga belitan tersebut biasanya terhubung bintang. Ujung-ujung belitan tersebut dihubungkan dengan slipring yang terdapat pada poros rotor.

Belitan-belitan tersebut dihubungkan melalui sikat (*brush*) yang menempel pada slipring. Jenis rotor belitan dapat dilihat pada gambar 2.2.

b. Rotor sangkar tupai



Gambar 2.3 Rotor sangkar tupai
(Sumber: Sarjan, 2011)

Motor induksi jenis ini mempunyai rotor dengan kumparan yang terdiri atas beberapa batang konduktor yang disusun sedemikian rupa hingga menyerupai sangkar tupai. Dari gambar 2.3 rotor yang terdiri dari sederetan batang-batang penghantar yang terletak pada alur-alur sekitar permukaan rotor. Ujung-ujung batang penghantar dihubungkan singkat dengan menggunakan cincin hubung singkat.

2.1.2 Menghitung Besarnya Putaran Medan (N_s)

Pada umumnya, motor induksi berputara dengan kecepatan konstan, namun pada penggunaan tertentu perlu adanya pengaturan putaran. Pengaruh putaran motor adalah semakin besar putaran motor maka gelombang fekuensi juga akan semakin besar. Kecepatan medan putar stator dapat dirumuskan sesuai dengan persamaan 2.1.

$$N_s = \frac{120 \times f}{P} \quad (2.1)$$

Dengan,

N_s : kecepatan medan putar stator (Rpm)

f : frekuensi (Hz)

P : jumlah kutub

Putaran medan magnet pada stator motor induksi akan diikuti oleh rotor sehingga rotor berputar. Makin berat beban yang diberikan ke motor, maka kecepatan rotor akan turun sehingga terjadi slip (s) yang dapat dihitung seperti persamaan 2.2.

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \quad (2.2)$$

Dengan,

S : Slip

N_r : kecepatan medan putar rotor (Rpm)

Besarnya slip akan mempengaruhi kinerja motor karena slip ini berhubungan langsung dengan rangkaian ekivalen motor (Anthony, 2015).

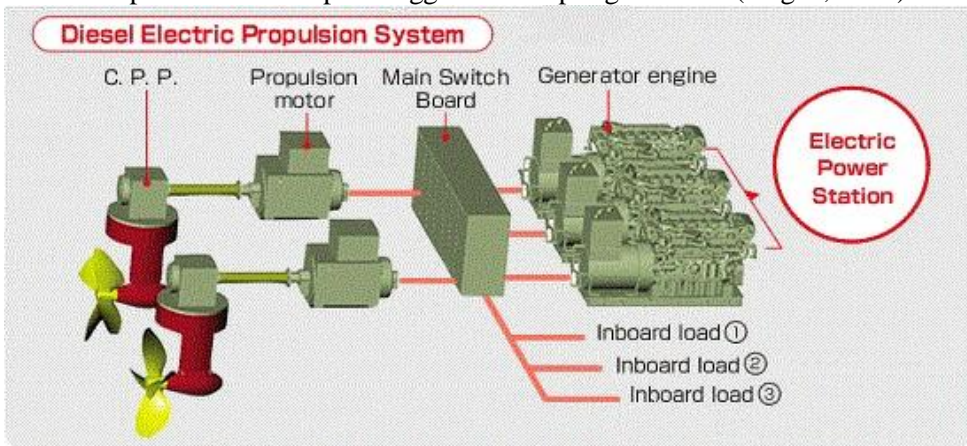
2.2 Sistem Propulsi Elektrik

Sistem propulsi elektrik merupakan sistem pada kapal yang menggunakan generator set sebagai mesin penggerak menggantikan kinerja dari mesin utama, pada sistem ini generator dihubungkan ke switchboar dan selanjutnya energi atau aliran listrik diteruskan ke transformer. Dari transformer kemudian dikonversi dengan menggunakan konverter ke motor elektrik yang akan menggerakkan baling-baling kapal.

Sistem propulsi elektrik dengan menggunakan motor listrik mempunyai banyak keuntungan apabila dibandingkan dengan sistem propulsi lain. Keuntungan yang akan didapatkan bila menggunakan sistem ini adalah biaya investasi tidak terlalu besar, bahan bakar yang digunakan hanya sedikit, memerlukan tempat yang tidak terlalu besar, biaya perawatan masih sangat terjangkau, pengaturan sistem penggerak yang dimiliki

lebih fleksibel, getaran dan kebisingan memiliki tingkat yang rendah (Muhammad dkk, 2014).

Pada kasus tertentu kapal dengan propulsi elektrik tidak memerlukan gearbox, seperti terlihat pada gambar 2.4. Hubungan elektrik antara generator dan motor propulsi lebih leluasa dalam penempatan peralatan dalam ruangan jika dibandingkan dengan sistem propulsi yang lain. Pada tipe penggerak mula tidak langsung, penggerak elektrik mempunyai keuntungan dapat membalikkan putaran propeller dengan relatif lebih mudah kontrolnya. Dalam beberapa kasus yang masih dalam tahap pengembangan, power yang dibutuhkan oleh propeller dengan menggunakan beberapa penggerak dengan tipe medium dan high speed, sistem penggerak elektrik mampu memecahkan persoalan ini tanpa menggunakan kopling mekanik (Yogha, 2015).



Gambar 2.4 Skema sistem propulsi electric
(Sumber: Yogha, 2015)

2.3 Sel Surya

Sel surya adalah salah satu piranti elektronik yang dapat mengubah secara langsung energi radiasi matahari menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan adalah energi arus searah (DC). Sel surya merupakan komponen vital yang terbuat dari bahan semi konduktor. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh satu sel surya sangat kecil, sehingga beberapa sel surya digabungkan sehingga terbentuk satuan komponen yang disebut *module*. Pada aplikasinya karena tenaga listrik yang dihasilkan oleh *module* ini masih kecil, maka dalam pemanfaatannya beberapa *module* digabungkan sehingga terbentuklah gabungan beberapa *module* yang disebut *array*.

1. Polikristal (Poly-crystalline)

Merupakan panel surya yang memiliki susunan kristal acak. Pada gambar 2.5 tipe *Polikristal* memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama, akan tetapi dapat menghasilkan listrik pada saat mendung.

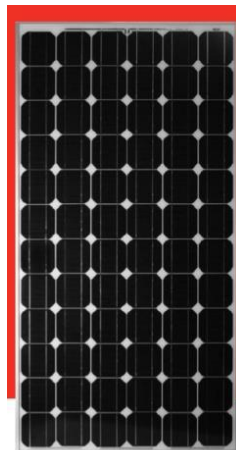


Polycrystalline silicon PV cell with
19.3% conversion-efficiency rating
(15cm × 15cm × 200μm)

Gambar 2.5 Polikristal (*Poly-crystalline*)
(Sumber: Ningtyas, 2016)

2. *Monokristal (Mono-crystalline)*

Merupakan panel yang paling efisien, menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Memiliki efisiensi sampai dengan 15%. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya mataharianya kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan.



Gambar 2.6 Monokristal (*Mono-crystalline*)
(Sumber: Ningtyas, 2016)

2.3.1 Prinsip Kerja Sel Surya

Sel surya bekerja berdasarkan efek fotoelektrik pada material semikonduktor untuk mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Berdasarkan teori Maxwell tentang radiasi elektromagnetik, cahaya dapat dianggap sebagai spektrum gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang yang berbeda. Pendekatan yang berbeda dijabarkan oleh Einstein bahwa efek fotoelektrik mengindikasikan cahaya merupakan partikel diskrit atau quanta energi. Dualitas cahaya sebagai partikel dan gelombang dirumuskan dengan persamaan 2.3.

$$E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (2.3)$$

Dengan,

E : Besaran energi

h : Konstanta Planck ($6,625 \times 10^{-34}$ Js)

f : Frekuensi

c : Kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)

λ : Panjang gelombang

Sifat cahaya sebagai energi dalam paket-paket foton ini yang diterapkan pada sel surya.

2.4 Sistem Pembangkit Listrik

2.4.1 Sistem Pembangkit Listrik Diesel Generator

Menurut Marpaung (2010), *diesel generating set* merupakan salah satu pembangkit listrik berbahan bakar fosil yang sering digunakan. Kelebihan pembangkit listrik tenaga *diesel generating set* antara lain adalah:

- Proses *start* yang mudah dilakukan, hanya membutuhkan sedikit waktu untuk pemanasan, kemudian mesin dapat dibebani.
- Diesel generating set* cukup mudah untuk dimatikan, dengan kata lain mesin diesel dijalankan tanpa beban terlebih dahulu hingga dingin kemudian mesin dapat dimatikan.

Fungsi utama dari *diesel generating set* adalah penyedia listrik yang dapat berfungsi :

- Sebagai unit cadangan (*emergency*) yang dinyalakan pada saat keadaan darurat atau saat terjadi pemadaman pada unit pembangkit utama.
- Sebagai unit pembangkit bantuan yang dapat membantu pasokan listrik dari PLN atau sebagai pemikul beban tetap.

2.4.2 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Sel Surya

Pembangkit listrik tenaga surya merupakan suatu teknologi pembangkit dengan prinsip pengkonversian energi foton dari surya diubah menjadi energi listrik. Konversi ini terjadi pada panel surya yang terdiri dari sel-sel surya (*photovoltaic*). Sel-sel tersebut merupakan lapisan-lapisan tipis yang terbuat dari *silicon* (Si) murni dan bahan semikonduktor lainnya.

Dalam penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Bhattacharya dkk (2001) dilakukan pengembangan pendekatan desain sistem pembangkit listrik tenaga surya/ *photovoltaic* yang disederhanakan beserta analisis keekonomiannya. Dalam pemodelan tersebut, ukuran panel surya dan baterai untuk sistem pembangkit listrik tenaga surya/ *photovoltaic* mandiri (*standalone*) diperkirakan. Perbandingan biaya antara sistem pembangkit listrik tenaga surya/*photovoltaic* mandiri (*standalone*) dengan sistem pembangkit listrik *hybrid* (sel surya dan diesel generator) juga disajikan. Hasil analisis menunjukkan bahwa biaya yang

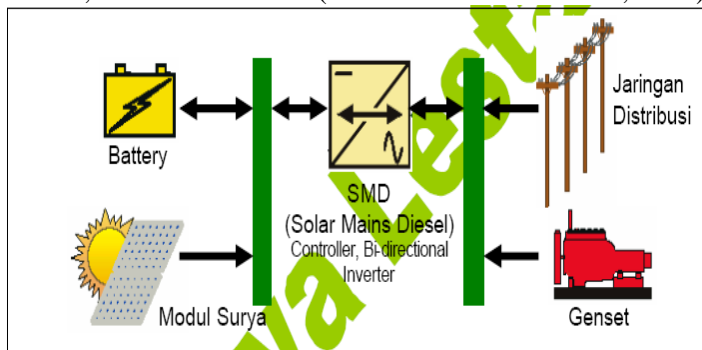
diperlukan untuk operasional sistem *hybrid* lebih efektif dibandingkan dengan sistem mandiri (*standalone*).

Sementara dalam penelitian lain mengenai sistem pembangkit listrik tenaga sel surya, Mohanlal Kolhe (2002) juga telah melakukan studi kelayakan keekonomian dari sistem pembangkit listrik tenaga surya/ *photovoltaic* mandiri (*standalone*) dibandingkan dengan sistem pembangkit listrik konvensional yaitu sistem bertenaga diesel untuk menyuplai kebutuhan energi melalui analisis sensitivitas perhitungan siklus biaya hidup. Parameter yang digunakan, diantaranya tingkat diskonto, biaya bahan bakar diesel, masa hidup sistem diesel, tingkat eskalasi bahan bakar, solar insolation, biaya panel surya dan keandalan sistem. Hasil penelitian menunjukkan sistem pembangkit listrik tenaga surya/*photovoltaic* dapat menjadi pilihan sistem dengan biaya yang efektif untuk menyuplai kebutuhan energi harian hingga 15 kWh.

2.4.3 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Sel Surya dan Diesel Generator)

Pengertian *hybrid* pada umumnya adalah penggunaan dua atau lebih pembangkit listrik dengan sumber energi yang berbeda. Tujuan utama dari sistem *hybrid* pada dasarnya adalah berusaha menggabungkan dua atau lebih sumber energi (sistem pembangkit). Penggabungan dua sistem atau lebih tersebut memiliki tujuan untuk menutupi kelemahan masing-masing sistem dan dapat dicapai keandalan suplai dan efisiensi ekonomis pada beban tertentu.

Sistem *hybrid* atau Pembangkit Listrik Tenaga *hybrid* (PLTH) merupakan salah satu alternatif sistem pembangkit yang tepat diaplikasikan pada daerah-daerah yang sukar dijangkau oleh sistem pembangkit besar seperti jaringan PLN atau PLTD. Pada gambar 2.8 PLTH ini memanfaatkan *renewable energy* sebagai sumber utama (primer) yang dikombinasikan dengan Diesel Generator sebagai sumber energi cadangan (sekunder). Pada PLTH, *renewable energy* yang digunakan dapat berasal dari energi matahari, angin, dan lain-lain yang dikombinasikan dengan Diesel-Generator Set sehingga menjadi suatu pembangkit yang lebih efisien, efektif dan handal (Banartama dan Windarto, 2011).



Gambar 2.7 Contoh sistem PLTH
(Sumber: Banartama dan Windarto, 2011)

2.4.3.1 Prinsip Kerja Teknologi *Hybrid* Surya

Cahaya matahari dapat diubah menjadi energi listrik melalui sel surya yang terbuat dari bahan semikonduktor. Sel surya mampu menyerap cahaya sinar matahari yang mengandung gelombang elektromagnetik atau energi foton. Energi foton pada cahaya matahari ini menghasilkan energi kinetik yang mampu melepaskan elektron-elektron ke pita konduksi sehingga menimbulkan arus listrik. Energi kinetik akan semakin besar seiring dengan meningkatnya intensitas cahaya dari matahari (Hasan, 2012).

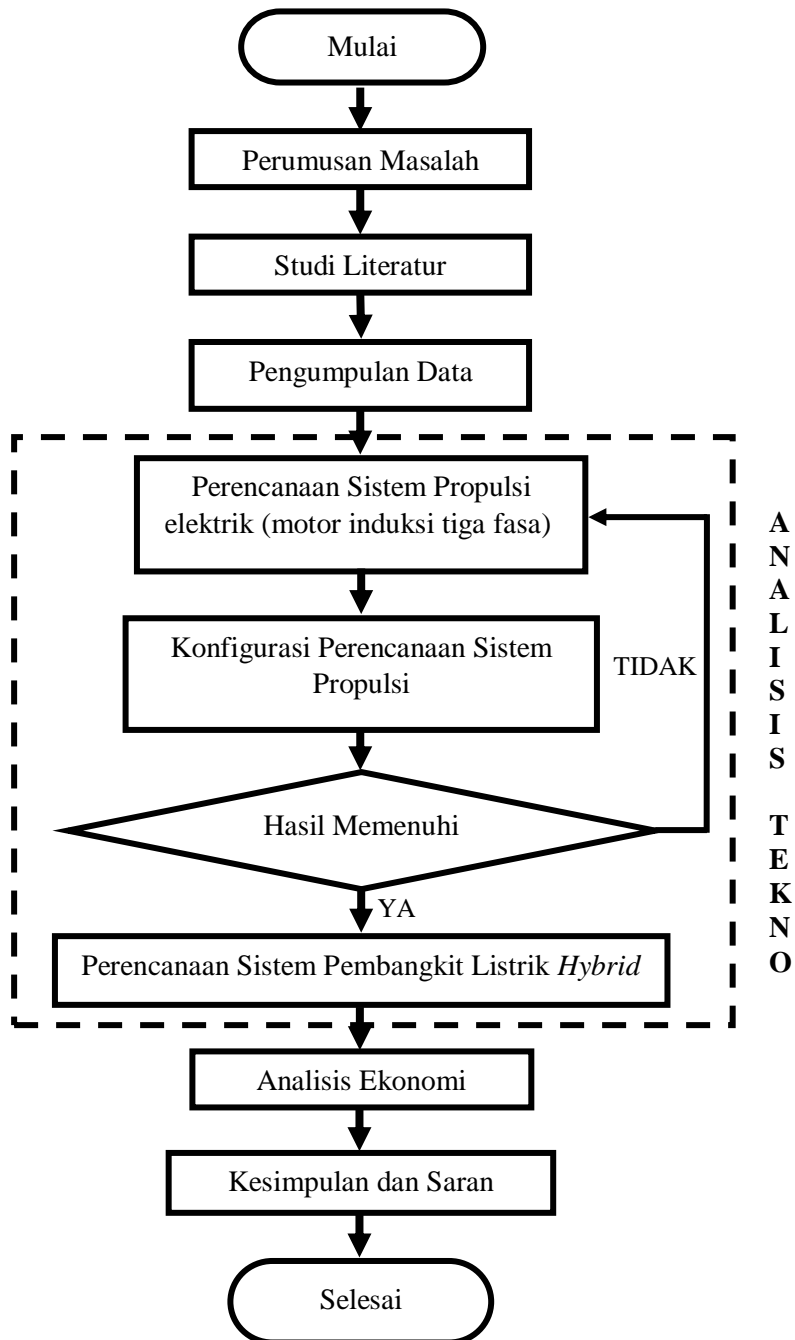
Cara kerja Pembangkit Listrik Sistem *Hybrid Surya* tergantung dari bentuk beban atau fluktuasi pemakaian energi (load profile) yang mana selama 24 jam distribusi beban tidak merata untuk setiap waktunya. Load profil ini sangat dipengaruhi penyediaan energinya. Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka kombinasi sumber energi antara Sumber energi terbarukan dan Diesel Generator atau disebut Pembangkit Listrik Sistem Hibrida adalah salah satu solusi paling cocok untuk sistem pembangkitan yang terisolir dengan jaringan yang lebih besar seperti jaringan PLN.

Pada umumnya PLTH bekerja sesuai urutan sebagai berikut:

1. Pada kondisi beban rendah, maka beban disuplai 100% dari baterai dan PV module, selama kondisi baterai masih penuh sehingga diesel tidak perlu beroperasi.
2. Untuk beban diatas 75% beban inverter (tergantung setting parameter) atau kondisi baterai sudah kosong sampai level yang disyaratkan, diesel mulai beroperasi untuk mensuplai beban dan sebagian mengisi baterai sampai beban diesel mencapai 70-80% kapasitasnya (tergantung setting parameter). Pada kondisi ini Hybrid Controller bekerja sebagai charger (merubah tegangan AC dari generator menjadi tegangan DC) untuk mengisi baterai.
3. Pada kondisi beban puncak baik diesel maupun inverter akan beroperasi dua-duanya untuk menuju paralel sistem apabila kapasitas terpasang diesel tidak mampu sampai beban puncak. Jika kapasitas genset cukup untuk mensuplai beban puncak, maka inverter tidak akan beroperasi paralel dengan genset (Banartama dan Windarto, 2011).

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Pelaksanaan Skripsi



Gambar 3.1 Diagram alur pengerjaan skripsi

Gambar 3.1 merupakan diagram alur dari pengerjaan skripsi yang dilakukan. Adapun penjelasan setiap tahapan pelaksanaan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Perumusan Masalah

Tahap ini merupakan tahapan untuk menentukan perumusan masalah yang akan diambil. Hal ini terkait pemecahan dari permasalahan sehingga layak untuk dijadikan bahan tugas akhir. Identifikasi permasalahan dilakukan dengan cara mengetahui peralatan apa saja yang ada di dalam kamar mesin saat sistem propulsi konvensional maupun saat sistem propulsi elektrik. Perhitungan kebutuhan daya listrik pada saat sistem konvensional maupun saat sistem propulsi elektrik. Perhitungan perbandingan nilai biaya investasi maupun operasional pada kapal dengan sistem konvensional menuju ke sistem propulsi elektrik.

2. Studi Literatur

Studi literature adalah tahap untuk mencari referensi teori-teori yang digunakan sebagai dasar dalam melakukan perancangan sistem serta dapat menjadi acuan dalam pengerjaan. Referensi di tugas akhir ini adalah berkaitan dengan penggunaan motor induksi tiga fasa sebagai penggerak utama kapal dan sistem pembangkit listrik *hybrid* (sel surya dan diesel generator) pada perencanaan kapal tanker.

3. Pengumpulan Data

Data – data yang diperlukan akan dikumpulkan melalui berbagai cara, antara lain sebagai berikut :

- Data Primer :

Data ini akan diperoleh dengan cara langsung dari sumber tanpa perantara. Data ini berupa data kapal tanker 1700 DWT secara keseluruhan mulai dari spesifikasi kapal, spesifikasi mesin, spesifikasi generator, gambar *general arrangement* kapal, data perhitungan beban kelistrikan saat kapal dalam sistem konvensional, dsb.

- Data Sekunder :

Data ini akan diperoleh dengan cara perantara orang lain. Data ini dapat berupa berbagai penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Pada data jenis ini, data yang dibutuhkan adalah berkaitan dengan propulsi elektrik pada kapal.

4. Perencanaan Sistem Propulsi Elektrik

Pada tahap ini akan dilakukan pemilihan motor induksi tiga fasa sebagai penggerak utama kapal. Pemilihan motor berdasarkan kebutuhan daya menurut sistem konvensional sebelumnya. Selain pemilihan motor, pada tahap ini juga akan dilakukan pemilihan gearbox dan peralatan penunjang untuk sistem seperti *converter*. Pada tahap ini juga akan menjelaskan secara umum, bagaimana *converter* dapat mempengaruhi motor listrik khususnya motor induksi tiga fasa sebagai penggerak utama kapal yang dapat menggantikan kinerja dari *main engine*.

5. Konfigurasi Perencanaan Sistem Propulsi

Tahap ini adalah tahapan pencocokan antara propeller dan motor listrik yang telah dipilih untuk penggerak utama kapal. Hal ini dilakukan untuk mengetahui propeller dan motor listrik yang digunakan tidak mengalami kesulitan beroperasi. Output dari tahapan ini adalah sebuah grafik konfigurasi.

6. Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik *Hybrid*

Pada tahap ini akan dilakukan perencanaan sistem pembangkit listrik tenaga hybrid surya-generator diesel pada kapal tanker 1700 DWT, yang meliputi :

- a. Daya kebutuhan listrik kapal
- b. Daya tiap sel surya
- c. Jumlah sel surya
- d. Daya generator

7. Analisis Ekonomi

Pada tahap ini akan dilakukan analisis yang mengaji dari segi aspek ekonomi. Analisis yang akan dilakukan membahas segala tentang pembiayaan baik saat kapal dengan sistem konvensional maupun saat sistem baru sudah diaplikasikan. Kajian ekonomis yang dilakukan, hanya akan membahas keekonomisan dan biaya semua peralatan sistem yang terkait seperti propulsi dan pembangkit listrik.

8. Kesimpulan dan Saran

Setelah dilakukan analisis tekno dan analisis keekonomian penggunaan motor induksi tiga fasa dan sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid surya-generator diesel* pada perencanaan kapal tanker 1170 GT maka dapat ditarik kesimpulan dan saran bagi penelitian yang telah dilakukan.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB 4

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Kapal

Objek penelitian yang digunakan dalam pengerjaan skripsi ini adalah kapal tanker 1170 GT dengan data umum sebagai berikut:

Spesifikasi kapal

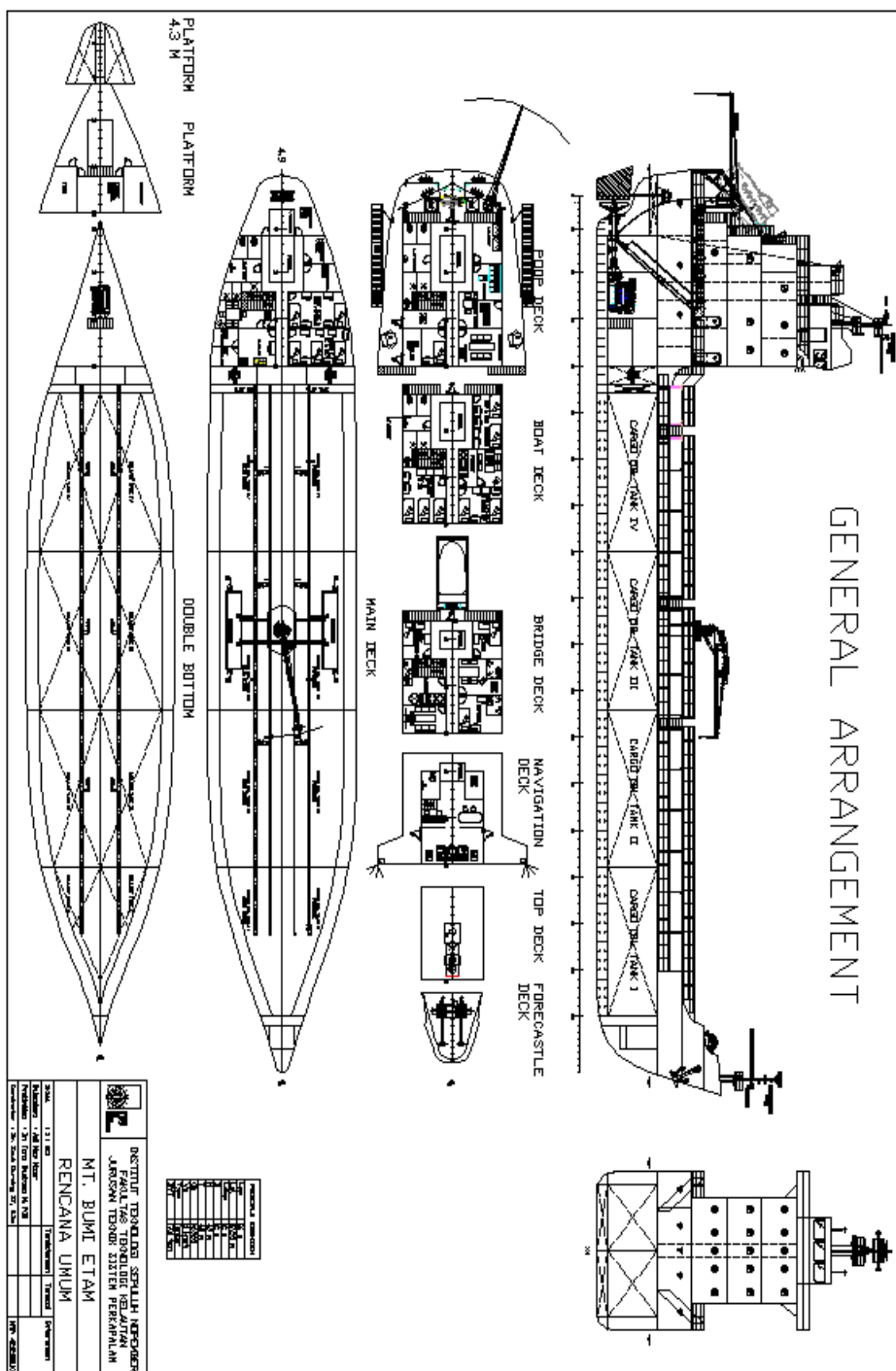
Panjang kapal (Lpp)	: 66	meter
Panjang antara garis air (Lwl)	: 67,98	meter
Lebar (B)	: 12	meter
Tinggi (H)	: 4,9	meter
Sarat air (T)	: 4,3	meter
V disp	: 2372,47	
Kecpatan dinas (Vs)	: 11	knot
	: 5,659	m/s

Spesifikasi mesin utama

Merk	: WARTSILA 4L20
Daya	: 800 kW
Putaran	: 1000 Rpm
SFOC	: 197 g/kWh
Berat	: 7,2 Ton
Bahan bakar	: HFO/MDO

Spesifikasi generator

Merk	: Caterpillar	
Type	: 4,4	
Daya	: 86	kW
Frekuensi	: 50	Hz
Putaran	: 1500	Rpm
Jumlah unit	: 3	Unit



Gambar 4.1 General Arrangement

4.2 Perencanaan Sistem Propulsi Elektrik

Pada tahap ini akan dilakukan pemilihan motor listrik yaitu motor induksi tiga fasa. Motor induksi tiga fasa akan menggantikan kinerja dari mesin utama kapal sebagai penggerak utama kapal. Motor induksi tiga fasa akan dipilih berdasarkan daya yang dibutuhkan kapal melalui perhitungan tahanan kapal sampai dengan perhitungan Engine Propeller Maching (EPM).

Setelah melakukan pemilihan motor, selanjutnya juga dilakukan pemilihan gearbox dengan rasio yang mampu mereduksi putaran motor agar tidak terlalu cepat. Gearbox dipilih agar, kinerja dari motor dapat seimbang dengan propeller.

4.2.1 Perhitungan Tahanan Kapal

Perhitungan daya kapal dengan menggunakan metode harvald terdiri dari dua komponen tahanan utama yaitu tahanan pada permukaan kapal diatas sarat air (draft) yang dipengaruhi oleh luasan bangunan atas kapal dan tahanan akibat permukaan dibawah sarat air yang dipengaruhi oleh luasan permukaan basah kapal. Tahanan kapal total adalah penjumlahan dari kedua tahanan tersebut. Sedangkan untuk pengaruh yang lain seperti gelombang, kekasaran permukaan dan sebagainya diberikan kelonggaran-kelonggaran pada penambahan sea margin dan engine margin kapal. Pada perhitungan tahanan kapal, perhitungan rumus persamaan yang digunakan berpedoman pada buku *Tahanan dan Propulsi Kapal (Sv. Harvald)*.

1. Luas Permukaan Basah

Luas permukaan basah kapal dapat dicari dengan menggunakan rumus persamaan 4.1.

$$\begin{aligned} S &= 1,025 \times L_{pp}(C_b B + 1,7T) \\ &= 1,025 \times 66 \times (0,6966 \times 12 + 1,7 \times 4,3) \\ &= 1060,021 \text{ m}^2 \end{aligned} \quad (4.1)$$

2. Frude Number

Froude number dapat dicari dengan menggunakan rumus persamaan 4.2.

$$\begin{aligned} Fn &= \frac{V_s}{\sqrt{g \times Lwl}} \\ &= \frac{5,6589}{\sqrt{9,81 \times 67,98}} \\ &= 0,2192 \end{aligned} \quad (4.2)$$

3. Reynold Number

Reynold number yang nantinya dipakai untuk mencari tahanan gesek dapat dicari dengan menggunakan rumus persamaan 4.3.

$$\begin{aligned} Rn &= \frac{V_s \times Lwl}{\nu} \\ &= \frac{5,6589 \times 67,98}{1,18831 \times 10^{-6}} \end{aligned} \quad (4.3)$$

$$= 3,2373 \times 10^8$$

4. Koefisien Tahanan Gesek

Koefisien tahanan gesek dapat dicari menggunakan rumus persamaan 4.4.

$$C_F = \frac{0,075}{(\log_{10} Rn - 2)^2} \quad (4.4)$$

$$= \frac{0,075}{(\log_{10} 3,2373 \times 10^8 - 2)^2}$$

$$= 1,7696 \times 10^{-3}$$

$$10^3 C_F = 1,7696$$

5. Koefisien Tahanan Sisa

Koefisien tahanan sisa dapat mengacu pada diagram guldhammer dengan pertama mencari nilai perbandingan. Melalui nilai $\frac{V_S}{\sqrt{L}}$ dan nilai koefisien prismatic, sehingga didapat nilai $10^3 C_R$ tiap nilai $Lwl / \nabla^{1/3}$.

$$\frac{L}{\nabla^{1/3}} = \frac{67,98}{2416,5014^{1/3}}$$

$$= 5,066$$

Karena nilai $Lwl / \nabla^{1/3}$ yang terhitung adalah 5,066, maka dilakukan interpolasi dengan data dari diagram guldhammer 5,0 dan 5,5.

Tabel 4.1 Interpolasi koefisien tahanan sisa

$LWL / \nabla^{(1/3)}$	$10^3 C_F$
5	1,2
5,066	1,174
5,5	1

Sehingga,

$$\frac{(10^3 C_{R(5,0658)} - 1,2)}{(1 - 1,2)} = \frac{(5,066 - 5,0)}{(5,5 - 5,0)}$$

$$10^3 C_{R(5,0658)} = 1,1737$$

6. Koreksi B/T

Diagram guldhammer dibuat berdasarkan perbandingan lebar dan sarat yaitu 2,5, sedangkan pada kapal ini nilai perbandingan lebar dan sarat adalah

$$\frac{B}{T} = \frac{12}{4,3} = 2,791$$

Diketahui perbandingan lebar dan sarat tidak tepat 2,5 sehingga dilakukan koreksi dengan rumus persamaan (4.5).

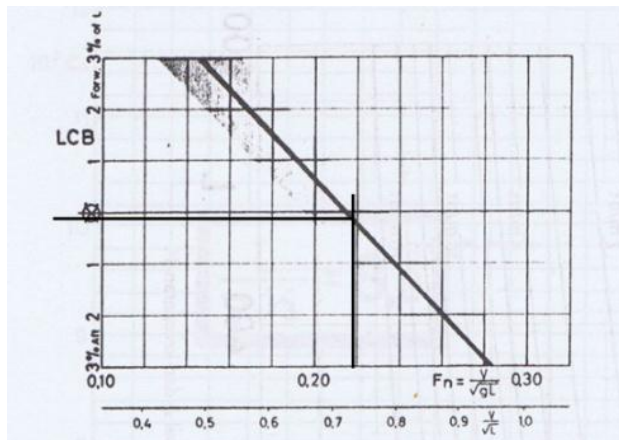
$$\begin{aligned}\frac{B}{T} &= 0,16 \times \left(\frac{B}{T} - 2,5\right) \\ &= 0,16 \times \left(\frac{12}{4,3} - 2,5\right) \\ &= 0,0465\end{aligned}\tag{4.5}$$

$$\begin{aligned}10^3 C_R &= 10^3 C_{R\left(\frac{B}{T}=2,5\right)} + 0,16 \left(\frac{B}{T} - 2,5\right) \\ &= 1,1737 + 0,16(0,2907) \\ &= 1,1737 + 0,0465 \\ &= 1,220\end{aligned}$$

7. Koreksi LCB

Koreksi Lcb dilakukan untuk mengetahui penambahan dari koefisien tahanan sisa (C_R) akibat dari penyimpangan letak LCB sebenarnya terhadap LCB standar. LCB sebenarnya terhadap Lpp menurut perhitungan simpson adalah

$$\begin{aligned}LCB &= \frac{-0,3988}{L_{pp}} \\ &= \frac{-0,3988}{66} \\ &= -0,006 \\ &= -0,6\%\end{aligned}$$



Gambar 4.2 LCB Standar

LCB Standar didapat dari Gambar 4.2 yang didapat nilai:

$$LCB_{standar} = -0.2\%$$

Karena LCB sebenarnya terletak dibelakang LCB standar, maka tidak diperlukan koreksi.

8. Tahanan Tambahan

tahanan tambah disini diperhitungkan karena pengaruh kekasaran permukaan lambung kapal. Tahanan tambahan diberikan menurut panjang kapal berdasarkan Gambar 4.3.

L	$\leq 100 \text{ m}$	$10^3 C_A = 0,4$
	$= 150 \text{ m}$	$= 0,2$
	$= 200 \text{ m}$	$= 0$
	$= 250 \text{ m}$	$= -0,2$
	$\geq 300 \text{ m}$	$= -0,3$

Gambar 4.3 Standart tahanan tambahan

Sehingga didapatkan nilai tahanan tambahan sebesar

$$10^3 C_A = 0,40$$

9. Tahanan Udara

Karena data mengenai angin dalam perancangan kapal tidak diketahui, maka disarankan untuk mengoreksi $10^3 C_R$ sebagai berikut

$$10^3 C_{AA} = 0,07$$

(Sv. Aa. Harvald., Tahanan dan Propulsi Kapal)

10. Tahanan Kemudi

Tahanan kemudi sebesar

$$10^3 C_{AS} = 0,04$$

(Sv. Aa. Harvald., Tahanan dan Propulsi Kapal)

11. Koefisien Tahanan Total

$$\begin{aligned} 10^3 C_T &= 10^3 C_F + 10^3 C_R + 10^3 C_A + 10^3 C_{AA} + 10^3 C_{AS} \\ &= 1,7696 + 1,2202 + 0,4 + 0,07 + 0, \\ &= 3,437 \end{aligned}$$

12. Tahanan Total

Tahanan total dihitung dengan rumus persamaan 4.6.

$$\begin{aligned} R_T &= C_T \times \frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \times S \\ &= (3,437 \times 10^{-3}) \times \frac{1}{2} \times 1025,87 \times 5,6589^2 \times 1060,021 \\ &= 59669,146 \text{ N} \end{aligned} \tag{4.6}$$

13. Tahanan Total Dinas

Karena kapal berlayar dari Kalimantan menuju ke Jakarta yang masih daerah pelayaran Indonesia, maka untuk sea margin dipilih sebesar 15% dari rentang sea margin sebesar 15-20%.

$$\begin{aligned}
 R_{TSERVICE} &= R_T + 15\%R_T \\
 &= 59669,146 + (15\% \times 59669,146) \\
 &= 68619,518 \text{ N}
 \end{aligned}$$

4.2.2 Perhitungan Kebutuhan Daya Motor

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan kebutuhan daya untuk pemilihan motor listrik sebagai penggerak utama kapal. Perhitungan yang dilakukan yaitu dengan tahap-tahap sebagai berikut:

1. Perhitungan Effective Horse Power

Daya Efektif atau EHP adalah daya yang diperlukan untuk menggerakkan kapal di air atau untuk menarik kapal dengan kecepatan Vs. EHP dapat dihitung dengan rumus persamaan 4.7

$$\begin{aligned}
 EHP &= VS \times RT \\
 &= 5,654 \times 68,817 \\
 &= 389,089 \text{ kW}
 \end{aligned} \tag{4.7}$$

2. Perhitungan Wake Fraction

Wake friction atau arus ikut merupakan perbandingan antara kecepatan kapal dengan kecepatan air yang menuju ke propeller. Pada perhitungan kali ini yang digunakan adalah kapal dengan propeller single screw. Dengan menggunakan tabel yang diberikan oleh Taylor, maka didapat nilai w adalah 0,2864. Diketahui dari tabel 4.2 bahwa nilai w:

Tabel 4.2 Wake fraction	
Cb	W
0.65	0.26
0.69	-
0.7	0.293

Setelah itu dilakukan interpolasi sehingga diketahui nilai dari tabel 4.2 yang kosong. Interpolasi yang dimaksud adalah

$$\begin{aligned}
 \frac{(2b - 1b)}{(3b - 1b)} &= \frac{(2a - 1a)}{(3a - 1a)} \\
 2b &= 1b + \frac{(2a - 1a)}{(3a - 1a)}(3b - 1b) \\
 &= 0,260 + \frac{(0,69 - 0,65)}{(0,70 - 0,65)} \\
 &\quad \times (0,293 - 0,260) \\
 &= 0,2864
 \end{aligned}$$

Sehingga diketahui bahwa pada Cb 0,69 memiliki nilai w = 0,2864

3. Perhitungan Trust Deduction

Menghitung trust deduction nilai t dapat dicari dari nilai w yang telah diketahui dengan rumus persamaan 4.8.

$$\begin{aligned} t &= k \times w \\ &= 0,7 \times 0,2864 \\ &= 0,2005 \end{aligned} \quad (4.8)$$

Nilai k diambil 0.7 dari *range* pilihan 0,7-0,9.

4. Perhitungan Efisiensi Lambung

Efisiensi lambung dapat dicari dengan menggunakan rumus persamaan 4.9.

$$\begin{aligned} \eta_H &= \frac{1 - t}{1 - w} \\ &= \frac{1 - 0,2005}{1 - 0,2869} \\ &= 1.120 \end{aligned} \quad (4.9)$$

5. Mengambil Nilai Efisiensi Relative Rotative dan Efisiensi Propeller

Harga η_R atau efisiensi relatif rotatif untuk kapal dengan propeler tipe single screw adalah berkisar antara 1,02 sampai 1,05, diambil sebesar 1,03. Efisiensi propeler (η_0) di sini nilainya berkisar antara 40-70%, dan nilai yang digunakan sebesar 55% atau 0,55.

6. Perhitungan *Propulsive Coefficient*

Propulsive coefficient didapat diketahui dengan perhitungan menggunakan rumus persamaan 4.10.

$$\begin{aligned} PC &= \eta_o \times \eta_H \times \eta_R \\ &= 0,55 \times 1,120 \times 1,03 \\ &= 0,6347 \end{aligned} \quad (4.10)$$

7. Perhitungan DHP (Delivery Horse Power)

Daya pada tabung poros baling - baling atau DHP dihitung dari perbandingan antara Daya Efektif atau EHP dengan Koefisien Propulsif atau PC.

$$\begin{aligned} DHP &= \frac{EHP}{PC} \\ &= \frac{389,089}{0,6347} \\ &= 613,020 \text{ kW} \end{aligned}$$

8. Perhitungan SHP (Shaft Horse Power)

Untuk kapal yang kamar mesinnya terletak di bagian belakang akan mengalami losses sebesar 2%, sedangkan pada kapal yang kamar mesinnya pada daerah midship kapal mengalami losses sebesar 3% ("Principal of Naval Architecture hal 131"). Pada perencanaan ini, kamar mesin terletak dibagian belakang, sehingga losses yang terjadi hanya 2%. Di sini kapal memiliki

kamar motor di bagian belakang, harga efisiensi bantalan dan tabung baling - baling atau $\eta_S \eta_B$ (Efisiensi poros dan baling-baling) adalah 0,98.

$$\begin{aligned} SHP &= \frac{DHP}{\eta_S} \\ &= \frac{613,020}{0,98} \\ &= 625,530 \text{ kW} \end{aligned}$$

9. Perhitungan BHP_{scr}

BHP_{scr} adalah daya output dari motor penggerak pada kondisi baru (Continues Servis Rating). Karena rpm mesin besar maka diperlukan Gear Box, sehingga $\eta_G = 0,98$.

$$\begin{aligned} BHP_{SCR} &= \frac{SHP}{\eta_G} \\ &= \frac{625,530}{0,98} \\ &= 638,296 \text{ kW} \end{aligned}$$

10. Perhitungan BHP_{MCR}

BHP_{mcr} daya keluaran pada kondisi maksimum dari motor induk, dimana besarnya $BHP_{scr} = 80\% - 85\% BHP_{mcr}$. Selisih antara BHP_{mcr} dan BHP_{scr} ialah engine margin. Diambil engine margin 15%.

$$\begin{aligned} BHP_{MCR} &= \frac{BHP_{SCR}}{0,85} \\ &= \frac{638,296}{0,85} \\ &= 750,937 \text{ kW (1007.0229 HP)} \end{aligned}$$

Dari semua perhitungan diatas, setelah mendapat nilai BHP maka dapat ditentukan spesifikasi motor induksi tiga fasa yang akan digunakan sebagai penggerak utama untuk kapal.

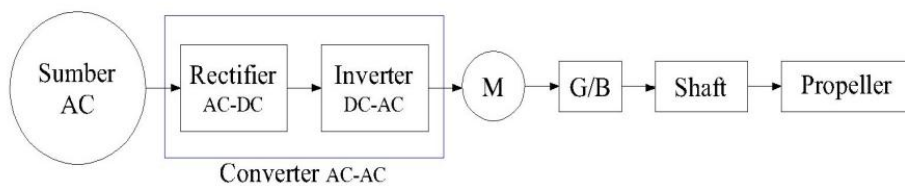
Tabel 4.3 Spesifikasi Motor Listrik

Merk	Power	Type	tegangan	Frekuensi	Putaran
ABB	800 kW	M4BP 450LC 6	380 Volt	50 Hz	994 Rpm

Tabel 4.4 Spesifikasi Gearbox

Merk	Power	Type	Rasio	Putaran
ZF	5012 kW	43100 NR	3,909	1000 Rpm

Sistem propulsi elektrik dengan menggunakan motor induksi tiga fasa dapat dilihat melalui diagram blok pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Diagram blok sistem propulsi elektrik

Pada gambar 4.4 alur dari sistem propulsi elektrik tersebut dimulai dari sebuah sumber tegangan AC sebagai penyuplai tegangan, kemudian untuk masuk ke motor induksi tiga fasa, sumber AC masuk ke converter terlebih dahulu.

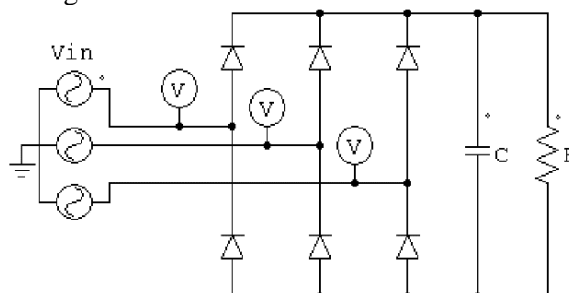
4.2.3 Converter AC-AC

Sirkuit *converter* terdiri dari tiga bagian, bagian pertama sebuah sirkuit yang terbentuk dari sirkuit *converter rectifier* yang mengubah sumber AC (*generator side*) diubah menjadi arus searah DC. Bagian kedua adalah sirkuit *inverter* yang mengubah arus searah menjadi arus AC (*motor side*) dengan frekuensi beragam. Kedua sirkuit ini disebut sirkuit utama. Bagian ketiga adalah sirkuit kontrol yang berfungsi sebagai pengontrol sirkuit utama. Secara sederhana prinsip dasar *converter* untuk dapat mengubah frekuensi menjadi lebih kecil atau lebih besar yaitu dengan mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC (*Rectifier*) kemudian dijadikan tegangan AC lagi (*Inverter*) dengan frekuensi yang berbeda atau dapat diatur (Nasution, 2012).

1. Rectifier

Rectifier atau penyearah adalah bagian dari *power supply* yang berfungsi untuk mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC. Komponen utama dalam penyearah gelombang adalah diode yang dikonfigurasikan secara forward bias.

Rangkaian rectifier tiga fasa dan enam buah diode yang dapat mengubah tegangan tiga fasa menjadi tegangan DC. Rangkaianannya seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.5.



Gambar 4.5 Rangkaian rectifier tiga fasa
(Sumber: Lubis dkk, 2016)

Untuk dapat menentukan tegangan keluaran bisa dengan persamaan 4.11 dan 4.12.

$$V_m = \sqrt{2} \times V_s \quad (4.11)$$

Dimana,

V_m = Tegangan Maksimal (V)

V_{rms} = Tegangan Terukur (V)

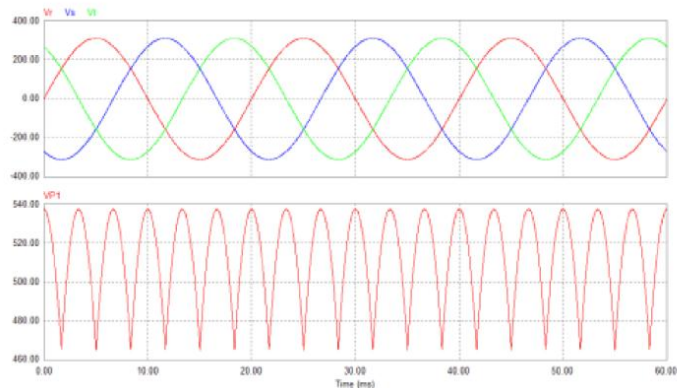
$$V_{dc} = \frac{3}{\pi} V_m \quad (4.12)$$

Dimana,

V_{dc} = Tegangan Output DC

V_m = Tegangan Maksimal

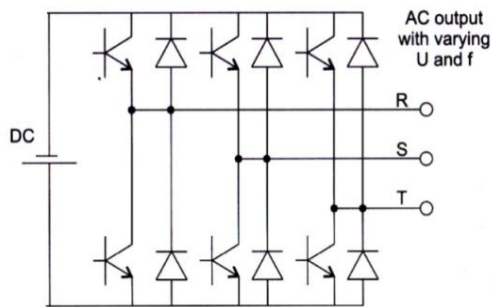
Rangkaian *rectifier* ini pada umumnya menggunakan dioda sebagai komponen utamanya. Hal ini dikarenakan dioda memiliki karakteristik yang hanya melewatkan arus listrik ke satu arah dan menghambat arus listrik dari arah sebaliknya. Jika sebuah Dioda dialiri arus Bolak-balik (AC), maka Dioda tersebut hanya akan melewatkan setengah gelombang, sedangkan setengah gelombangnya lagi diblokir seperti pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Gelombang Vinut dan Voutput rectifier.
(Sumber: Lubis dkk, 2016)

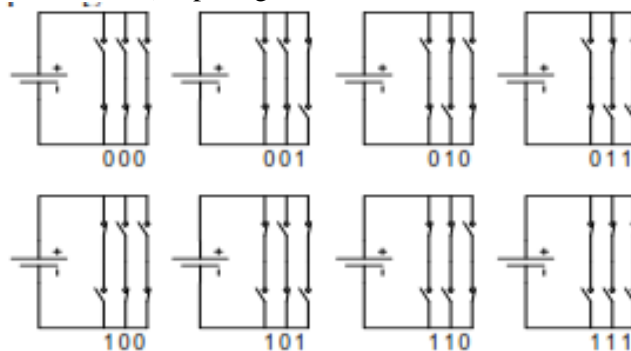
2. Inverter

Inverter memiliki fungsi mengubah tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC). Perubahan tersebut dilakukan dengan mengubah kecepatan motor AC dengan cara mengubah frekuensi outputnya.



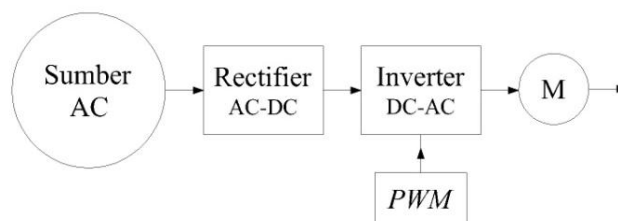
Gambar 4.7 Rangkaian inverter tiga fasa tiga lengan
(Sumber: Emmanuel, 2009)

Rangkaian daya Inverter Tiga fasa tiga lengan (*Three-leg Inverter*) memiliki enam buah saklar dengan sumber tegangan searah. Pada suatu inverter jenis *Voltage source* harus memiliki dua syarat yaitu saklar yang terletak pada satu lengan tidak boleh konduksi secara bersamaan hingga menimbulkan arus hubung singkat, serta arus pada sisi AC harus selalu dijaga kontinuitasnya. (Emmanuel, 2009). Berdasarkan pada kedua syarat tersebut maka terdapat 2^3 kondisi (8 kondisi sakla) seperti gambar berikut ini.



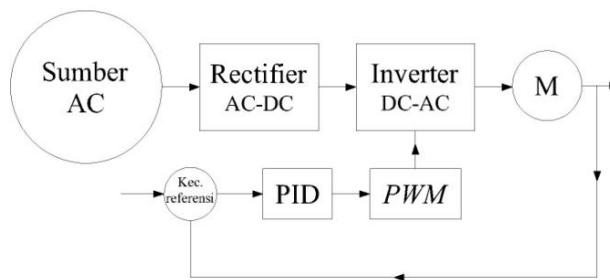
Gambar 4.8 Konfigurasi saklar inverter 3 fasa 3 lengan
(Sumber: Emmanuel, 2009)

Sistem ini terdiri atas sebuah sumber AC (Generator) sebagai penyuplai tegangan, kemudian diubah menjadi tegangan DC oleh penyearah tiga fasa seperti pada gambar gambar 4.9.



Gambar 4.9 Permodelan konverter PWM

Kemudian output penyearah tiga fasa yang berupa tegangan DC di terima inverter untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC tiga fasa, filter pasif yang berfungsi untuk memperhalus tegangan AC yang dihasilkan inverter.



Gambar 4.10 Permodelan converter PWM dengan control PID

Inverter dikendalikan oleh rangkaian kendali yang tersusun atas pengendali PID dan sinusoidal PWM seperti pada gambar 4.10. Pengendali PID mendapat masukan berupa sinyal yang diperoleh dari perbandingan antara kecepatan referensi yang diinginkan dengan kecepatan sesungguhnya yang terukur dari motor induksi. Keluaran dari pengendali PID adalah sinyal kendali yang selanjutnya diumpankan pada PWM. Tugas PWM adalah menghasilkan sinyal kendali dengan frekuensi tertentu berdasarkan sinyal kendali yang dihasilkan oleh pengendali PID.

4.3 Analisis Konfigurasi Sistem Propulsi Elektrik

Pada tahap ini akan dilakukan proses pencocokan untuk motor induksi tiga fasa yang telah dipilih dengan propeller yang sudah ada yaitu B4-100. Proses pencocokan dilakukan dengan perhitungan rumus dan pembacaan grafik-grafik untuk memperoleh data perhitungan yang diharapkan. Outputan dari tahap ini adalah sebuah grafik yang akan memberikan sebuah informasi bahwa motor induksi tiga fasa yang akan digunakan dengan propeller B4-100 dapat berfungsi dengan baik.

1. Mencari Nilai K_T Hull

Untuk mencari nilai K_T dari hull kapal, harus diketahui nilai β terlebih dahulu dengan rumus persamaan 4.13.

$$\beta = \frac{R_T}{V_S^2(1-t)(1-w)^2 D^2 \times \rho} \quad (4.13)$$

$$K_T = \beta \times J^2$$

Dan didapatkan untuk nilai K_T masing-masing untuk kondisi clean hull dan service.

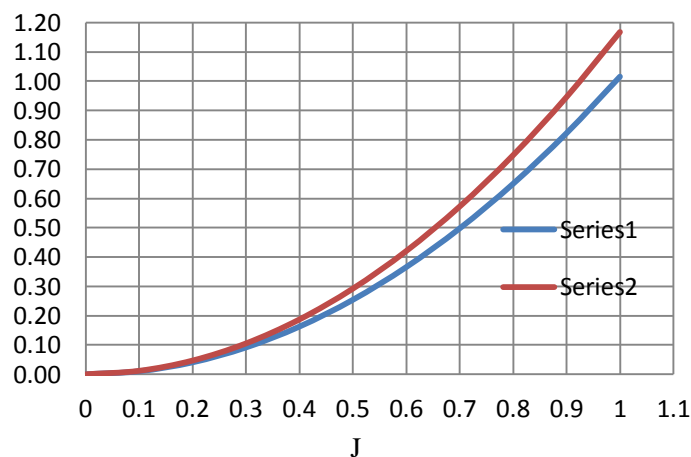
$$\beta_{cleanhull} = 1866,54$$

$$\beta_{service} = 2146,53$$

Tabel 4.5 Nilai K_T clean hull dan K_T rough hull

J	J^2	K_T clean hull	K_T rough hull
0	0,000	0,0000	0,0000
0,1	0,010	0,0102	0,0117
0,2	0,040	0,0406	0,0467
0,3	0,090	0,0914	0,1051
0,4	0,160	0,1625	0,1869
0,5	0,250	0,2539	0,2920
0,6	0,360	0,3656	0,4205
0,7	0,490	0,4976	0,5723
0,8	0,640	0,6500	0,7475
0,9	0,810	0,8226	0,9460
1	1,000	1,0156	1,1679

Dari data tabel 4.5, maka bisa digambarkan grafik hubungan antara J dengan K_T pada tiap kondisi.

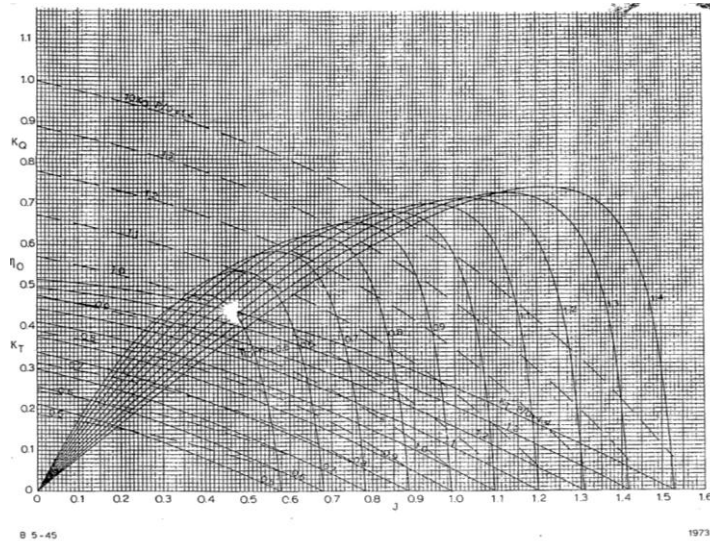


Gambar 4.11 Grafik J-KT

Gambar 4.7 adalah grafik J-KT pada kondisi trial dan service. Dimana garis warna biru menunjukkan hubungan J dan K_T pada kondisi trial dan garis warna merah menunjukkan menunjukkan hubungan J dan K_T pada kondisi service.

2. Mencari nilai K_T propeller

Untuk mencari nilai K_T propeller digunakan P/DB dari propeller yang sebelumnya dipilih yaitu 0,885 kemudian diplotkan pada kurva open water test sehingga didapatkan data nilai K_T , K_Q , J dan η .

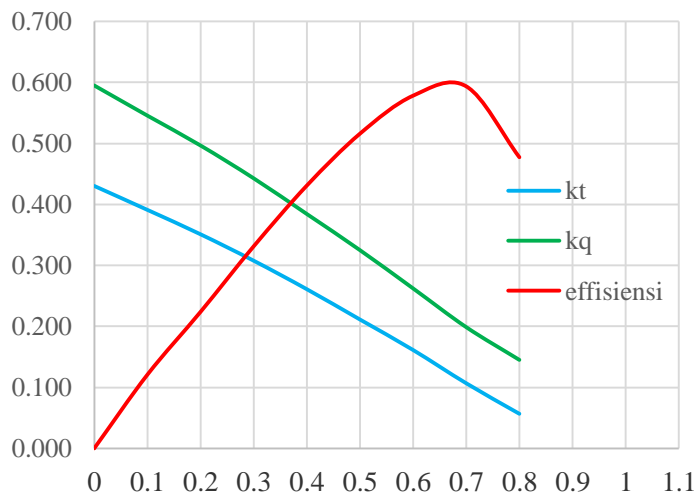


Gambar 4.12 Kurva open water test

Tabel 4.6 Nilai K_T , K_Q , dan efisiensi

P/D_b		0,885	
J	K_T	10 K_Q	η
0	0,430	0,595	0,000
0,1	0,391	0,546	0,121
0,2	0,351	0,497	0,224
0,3	0,308	0,443	0,331
0,4	0,261	0,384	0,431
0,5	0,211	0,325	0,516
0,6	0,161	0,262	0,578
0,7	0,107	0,199	0,594
0,8	0,057	0,145	0,477
0,9	0,00	0,03	0,00
1	0,00	0,00	0,00

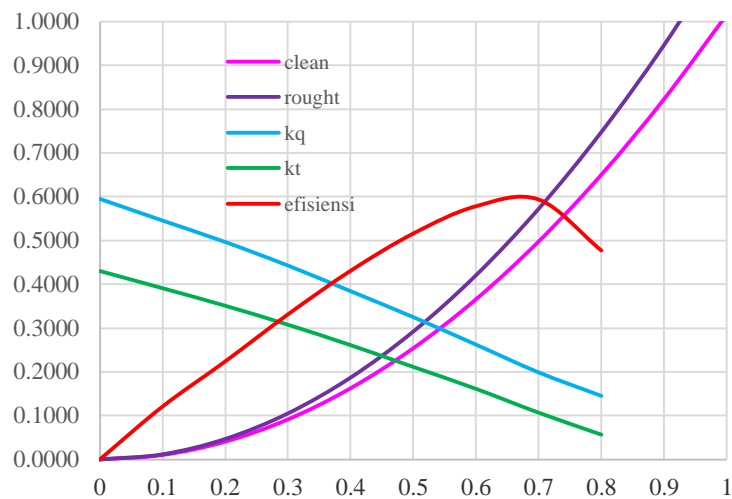
Open Water Test Pada P/D 0,885



Gambar 4.13 Kurva J-KT B4-100

3. Perpotongan K_T Propeller dengan K_T Hull

Open Water Test Pada P/D 0,885



Gambar 4.14 Perpotongan kurva J-KT dengan 10 KQ- η_o

Dari gambar 4.14 perpotongan K_T hull dengan K_T propeller mendapatkan nilai K. Dari perpotongan tersebut kita buat garis vertikal untuk mendapatkan nilai K_T .

Tabel 4.7 Nilai KT propeller

	J	KT	10KQ	η
Clean hull	0,4711	0,225	0,0340	0,4931
Service	0,4497	0,236	0,0350	0,4752

Dengan menggunakan nilai J pada tabel 4.7 akan dapat mengetahui nilai n (putaran) propeller yang bekerja pada efisiensi tersebut.

$$n = \frac{V_A}{J \times D}$$

a. Trial

$$n = \frac{V_A}{J \times D}$$

$$n = \frac{4,035}{0,4711 \times 2,098}$$

$$= 4,083 \text{ rps}$$

$$= 244,967 \text{ rpm}$$

b. Service

$$n = \frac{V_A}{J \times D}$$

$$n = \frac{4,035}{0,4497 \times 2,098}$$

$$= 4,277 \text{ rps}$$

$$= 256,624 \text{ rpm}$$

4. Mencocokkan Performa Motor dengan Propeller

a. Trial

Tabel 4.8 Performa Trial

Vs (Knot)	Va		rps	rpm	Q (Nm)	DHP (2πQn)	SHP (DHP/ηs)	BHP scr (kW)	BHP mcr (kW)
	Knot	m/s							
11,5	8,21	4,22	4,27	256	25788,8	691,28	719,78	734,47	864,08
11	7,85	4,03	4,08	245	23595,1	604,97	629,92	642,78	756,21
10,5	7,49	3,85	3,90	234	21498,8	526,17	547,87	559,05	657,70
10	7,14	3,67	3,71	223	19500,1	454,53	473,27	482,93	568,15
9,5	6,78	3,48	3,53	212	17598,8	389,70	405,77	414,05	487,12
9	6,42	3,30	3,34	200	15795	331,35	345,01	352,05	414,18
8,5	6,07	3,12	3,15	189	14088,8	279,14	290,65	296,58	348,91

b. Service

Tabel 4.9 Performa service

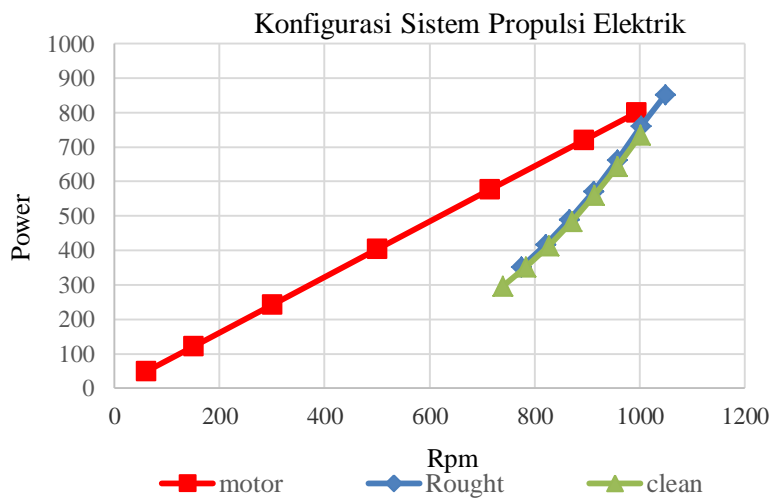
Vs (Knot)	Va		n prop		Q (Nm)	DHP ($2\pi Qn$)	SHP (DHP/ η_s)	BHP ser (kW)	BHP mcr (kW)
	Knot	m/s	rps	rpm					
11,5	8,21	4,22	4,47	268,289	29134,1	818,112	834,81	851,84	1002,17
11	7,85	4,03	4,28	256,624	26655,7	715,974	745,50	760,71	894,95
10,5	7,49	3,85	4,08	244,960	24287,6	622,712	648,39	661,62	778,3766
10	7,14	3,67	3,89	233,295	22029,5	537,922	560,10	571,53	672,391
9,5	6,78	3,48	3,69	221,630	19881,7	461,201	480,22	490,02	576,4912
9	6,42	3,30	3,50	209,965	17843,9	392,145	408,31	416,65	490,173
8,5	6,07	3,12	3,31	198,301	15916,3	330,351	343,97	350,99	412,9321

c. Presentase

Tabel 4.10 Persentase efisiensi

	Trial	Service
BHPmcr (kW)	642,78	760,71
%Daya Motor	80%	95%
RPM	245	256,624
%RPM	96%	100%

Dari proses perhitungan dan pembacaan grafik diatas. Selanjutnya dapat memperoleh grafik EPM.

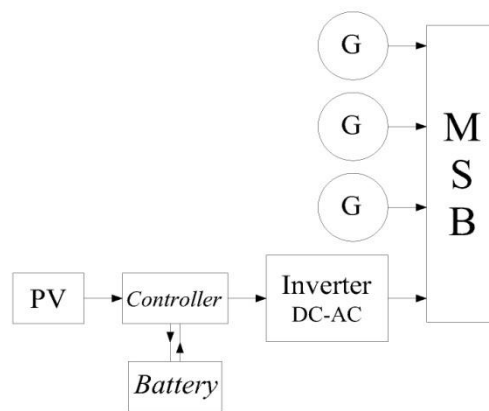


Gambar 4.15 Grafik konfigurasi sistem propulsi elektrik

Pada gambar 4.15 menunjukkan saat kondisi trial, putaran maksimal adalah 96% dengan daya motor yang terpakai 80% sebesar 642,78 kW. Pada saat kondisi service, putaran maksimal adalah 100% dengan daya motor yang terpakai 95% sebesar 760,71 kW. Sehingga, dapat dinyatakan bahwa motor listrik dan propeller B4-100 nantinya akan dapat beroperasi dengan baik.

4.4 Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Hybrid (Sel surya dan Diesel Generator)

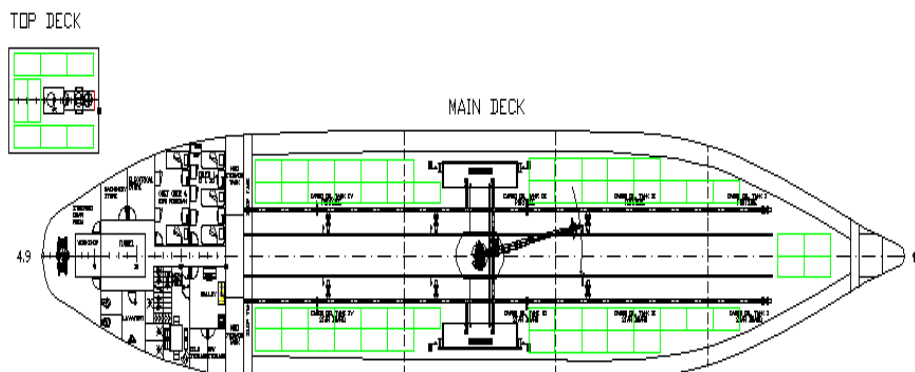
Pembangkit listrik tenaga hybrid (sel surya dan diesel generator) yang akan digunakan pada perencanaan kapal tanker 1170 GT untuk dapat mensuplai kebutuhan listrik dikapal.



Gambar 4.16 Diagram blok perencanaan pembangkit listrik *hybrid*

Pada gambar 4.16 perencanaan sistem pembangkit *hybrid* (sel surya dan diesel generator) akan di suplai dengan tiga generator dan sel surya.

4.4.1 Perencanaan penggunaan sel surya



Gambar 4.17 Penempatan sel surya

Pada gambar 4.17 penempatan sel surya di letakkan pada main deck dan top deck kapal.

Spesifikasi sel surya yang digunakan:

SunPower E20-435-COM

Output Power : 435 W

Effisiensi : 20,3 %

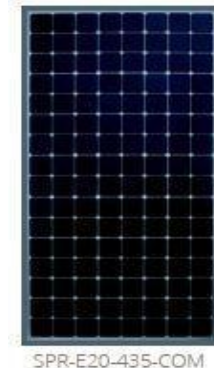
Size

Panjang : 2067 mm

Lebar : 1046 mm

Tinggi : 46 mm

Weight : 25,4 kg



Gambar 4.18 Panel surya SunPower

Tabel 4.11 Perhitungan daya pada panel surya

Lokasi	Jumlah Panel	Daya Panel (Watt)	Total (Watt-h/jam)	Total (Kwh/hari)
Top Deck	8	435	3480	24,36
Main Dek	56	435	24360	170,52
Total	64	-	27840	194,88

Penyinaran sinar matahari di Indonesia secara umum lamanya 10-12 jam di siang hari. Pada tabel 4.11 Lama penyinaran maksimum sinar matahari untuk sel surya diasumsikan selama 7 jam per hari. Jumlah sel surya sebanyak 64 dengan daya perpanelnya 435 Watt dapat menghasilkan 192,88 Kwh perharinya.

Baterai yang akan digunakan untuk menyimpan daya dari sel surya akan dihitung berdasarkan daya output sel surya.

$$\begin{aligned}\text{Output power PV} &= 194,88 \text{ kWh} \\ &= 194880 \text{ Watt/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Energi tiap baterai} &= 500 \text{ Ah} \times 12 \text{ V} \\ &= 6000 \text{ Watt/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah baterai} &= \text{Epv/energi baterai} \\ &= 194880/6000 \\ &= 32,48 \text{ di bulatkan } 33 \text{ baterai}\end{aligned}$$

Dengan spesifikasi baterai sebagai berikut:

Tipe : Tree TR12V 500AH

Kapasitas : 500 Ah

Tegangan : 12 Volt

Dimensi : 589 x 286 x 464 mm



Gambar 4.19 Baterai

4.4.2 Kebutuhan Generator

Penggunaan motor induksi tiga fasa sebagai penggerak utama kapal yang menggantikan kinerja dari *main engine* yang sebelumnya menggunakan *diesel engine* mempengaruhi beban listrik pada kapal. Kebutuhan listrik kapal pada sistem konvensional dapat dilihat pada tabel 4.12.

Tabel 4.12 Kebutuhan listrik sistem konvensional

I T E M		Sailing	Leave Port	Cargo handling	Lean On
MACHINERY PART	: Continue load	29,6	29,6	107,7	19,9
	: Intermitten load	33	15,4	13,9	16,7
HULL PART	: Continue load	17,3	27,9	26,0	36,4
	: Intermitten load	0,0	0,0	0,0	0,0
ELECTRICAL PART	: Continue load	9,1	9,2	4,1	8,9
	: Intermitten load	0,9	0,8	0,0	0,0
Total load	: Continue load	56,00	66,66	137,79	65,13
Power (d)	: Intermitten load	33,48	16,16	13,87	16,73
Diservity factor (e)	: $0,6 \times (d)$ intermitten	20,09	9,70	8,32	10,04
Number of load	: (d) continue + (e)	76,09	76,36	146,12	75,17

Pada tabel 4.12 pada sistem konvensional kebutuhan listrik terbesar adalah pada saat kondisi *cargo handling* atau bongkar muat. Karena, pada saat kondisi bongkar muat kapal akan menghidupkan banyak pompa. Kebutuhan listrik kapal dengan sistem baru yaitu dengan motor listrik sebagai penggerak utama kapal dapat dilihat pada tabel 4.13

Tabel 4.13 Kebutuhan listrik sistem baru

I T E M		Sailing	Leave Port	Cargo handling	Lean On
MACHINERY PART	: Continue load	800,0	7575,9	48,7	0,0
	: Intermitten load	27	9,8	24,8	9,8
HULL PART	: Continue load	14,5	14,5	44,1	44,9
	: Intermitten load	0,0	0,0	0,0	0,0
ELECTRICAL PART	: Continue load	9,1	9,2	4,1	8,9
	: Intermitten load	0,9	0,8	0,0	0,0
Total load	: Continue load	823,65	781,62	96,94	53,84
Power (d)	: Intermitten load	28,11	10,62	24,84	9,84
Diservity factor (e)	: $0,6 \times (d)$ intermitten	16,87	6,37	14,91	5,91
Number of load	: (d) continue + (e)	840,51	787,99	111,84	59,74

Pada sistem baru yang telah menggunakan motor induksi tiga fasa sebagai penggerak utama kapal beban listrik yang paling besar adalah pada saat kondisi sailing atau saat kapal sedang berlayar. Pada sistem baru, saat kondisi berlayar motor induksi tiga fasa akan bekerja untuk menggantikan kinerja engine. Sehingga, pada kondisi berlayar beban listrik pada kapal sangat besar. Pada sistem

baru, sistem pembangkit listrik adalah sistem *hybrid* yaitu penggabungan sel surya dan generator. Sel surya yang sudah ditata dengan jumlah power 194,88 kWh/hari dapat mensuplai 23,2% dari beban, sehingga kerja dari generator tidak terlalu banyak.

Spesifikasi generator:

Merk	: Perkins
Type	: EP 450
Daya	: 360 kW
Frekuensi	: 50 Hz
Putaran	: 1500 Rpm
Jumlah unit	: 3 Unit



Gambar 4.20 Generator

Mensuplai total beban sebesar 645,63 kW akan dibutuhkan 2 generator beroperasi pada saat kondisi *sea going*. Adanya peraturan bahwa kapal juga harus menyediakan spare untuk generator, maka generator yang akan digunakan menjadi 3 generator. Dimana 2 generator untuk beroperasi dan 1 generator sebagai spare.

4.5 Analisis Ekonomi

Analisis ekonomi penggunaan motor induksi tiga fasa sebagai penggerak utama kapal dan sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* surya generator diesel pada kapal tanker 1700 DWT dilakukan dalam rangka mendapatkan gambaran mengenai prospek penggunaan motor induksi tiga fasa sebagai penggerak utama kapal dan sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* surya generator diesel pada masa yang akan datang. Hal ini dilakukan dengan cara membandingkan keekonomian sistem konvensional (sebelum menggunakan motor induksi tiga fasa sebagai penggerak utama kapal dan sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* surya generator diesel) dengan sistem baru (menggunakan motor induksi tiga fasa sebagai penggerak utama kapal dan sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* surya generator diesel).

4.5.1 Perhitungan *Initial Cost* Sistem Konvensional

Initial cost atau biaya awal adalah biaya yang dikeluarkan mulai dari awal pembangunan sampai pembangunan sampai pembangunan tebut selesai (Tugino, 2004). Dalam menentukan *initial cost*, maka harus diketahui seluruh komponen yang akan dipasang untuk menunjang sistem tersebut.

Dalam hal ini, *initial cost* pada sistem konvensional berupa biaya investasi awal sistem propulsi dan pembangkit listrik konvensional yang ada pada kamar mesin. Biaya komponen tercantum dalam tabel 4.14.

Tabel 4.14 Rincian Initial Cost Sistem Konvensional

No.	Instrument	Unit	Harga Per Unit	Harga
1.	Main Engine	1	Rp 2.500.000.000	Rp 2.500.000.000
2.	Gearbox	1	Rp 45.000.000	Rp 45.000.000
3.	Shaft	1	Rp 55.000.000	Rp 55.000.000
4.	Propeller	1	Rp 50.000.000	Rp 50.000.000
5.	MDO Separator	2	Rp 165.681.818	Rp 331.363.636
6.	MDO Pre-Heater	2	Rp 135.000.000	Rp 270.000.000
7.	MDO Transfer Pump	2	Rp 14.500.000	Rp 29.000.000
8.	MDO Stand by Pump	1	Rp 14.500.000	Rp 14.500.000
9.	LO Transfer Pump	1	Rp 2.025.000	Rp 2.025.000
10.	LO Separator Unit	1	Rp 21.345.000	Rp 21.345.000
11.	LO Pre Heater Separator	1	Rp 94.500.000	Rp 94.500.000
12.	SW Cooling Pump	2	Rp 47.888.514	Rp 95.777.028
13.	Central Cooling Pump	1	Rp 7.023.649	Rp 7.023.649
14.	LT standby pump	1	Rp 35.118.243	Rp 35.118.243
15.	HT standby pump	1	Rp 35.118.243	Rp 35.118.243
16.	Air Compressor	2	Rp 75.109.091	Rp 150.218.182
17.	FW Hydrophore Set	1	Rp 7.350.000	Rp 7.350.000
18.	SW Hydrophore Set	1	Rp 7.350.000	Rp 7.350.000
19.	Oily Water Separator	1	Rp 33.750.000	Rp 33.750.000
20.	Oily Bilge Pump	1	Rp 1.277.027	Rp 1.277.027
21.	Ballast - Bilge pump	2	Rp 59.062.500	Rp 118.125.000
22.	Fire pump	2	Rp 35.118.243	Rp 70.236.486
25.	Main Pump	2	Rp 121.500.000	Rp 243.000.000
26.	Stripping Pump	2	Rp 2.349.000	Rp 4.698.000
27.	Generator	3	Rp 860.000.000	Rp 2.580.000.00
Jumlah			Rp 6.801.775.494	

(sumber: *alibaba.com*, diakses pada tanggal 25 Mei-17 Juli 2017)

Dari rincian harga pada tabel 4.16 harga komponen termahal adalah main engine dan generator yang juga merupakan komponen utama dari sistem konvensional. Rincian harga komponen tersebut menghabiskan anggaran sebesar Rp. 6.801.775.494.

4.5.2 Perhitungan Biaya Konsumsi Bahan Bakar Sistem Konvensional

Pada saat sistem konvensional bahan bakar digunakan untuk main engine dan auxilliary engine. Jumlah konsumsi bahan bakar saat kapal dengan sistem konvensional tercantum pada tabel 4.15.

Tabel 4.15 Konsumsi Bahan Bakar Sistem Konvensional Per Tahun

Keperluan	Unit	Power (kW)	SFOC (g/kWh)	Ton/jam	Ton/hari	Ton/tahun
Main engine	1	800	197	0,205	4,917	1268,617
Auxilliary	3	86	107	0,036	0,865	223,131
Total						1491,748

Berdasarkan tabel 4.15 dapat diketahui biaya dari konsumsi bahan bakar (*Fuel Oil Consumption*) kapal sistem konvensional per tahun adalah

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya FOC} &= \text{FOC} \times 1000 \times \text{Harga MFO} \\
 &= 1342,994 \times 1000 \times \text{Rp. } 6.350 \\
 &= \text{Rp. } 8.528.011.748/ \text{ tahun}
 \end{aligned}$$

Dimana, informasi harga keekonomian HSD Solar Industri PT.Pertamina (persero), periode (15-31 Maret 2017) adalah sebagai berikut:

Minyak bakar / MFO (*Marine Fuel Oil*)

Wilayah I	= Rp 6.250,-
Wilayah II	= Rp 6.350,-
Wilayah III	= Rp 6.450,-
Wilayah IV	= Rp 6.600,-

Keterangan:

Area I	: Sumatera, Jawa, Bali, Madura
Area II	: Kalimantan
Area III	: Sulawesi, NTB
Area IV	: Maluku, NTT, Irian Jaya

(sumber: www.infohargabbm.com)

Berdasarkan data kapal, kapal berlayar dari Kalimantan menuju ke Jakarta. Harga MFO yang digunakan dalam perhitungan biaya bahan bakar menggunakan harga wilayah II (kalimantan) sebesar Rp. 6.350/ liter nya.

4.5.3 Perhitungan Biaya Operasional Sistem Konvensional

Cash flow atau kas arus adalah suatu laporan keuangan yang berisikan pengaruh kas dari kegiatan operasi, kegiatan transaksi investasi dan kegiatan pembiayaan atau pendanaan serta kenaikan atau penurunan bersih dalam kas suatu perusahaan selama satu periode (Fish, 1915). Variabel *cash flow* pada perhitungan ini adalah *initial cost* dan biaya konsumsi bahan bakar seperti perhitungan yang telah dilakukan pada sub bab sebelumnya. Sehingga *cash flow* tahun pertama adalah

$$\begin{aligned} \text{Cast flow} &= \text{Initisl cost} + \text{Biaya FOC} \\ &= \text{Rp. 6.801.775.494} + \text{Rp. 8.528.011.748} \\ &= \text{Rp. 15.329.787.242} \end{aligned}$$

4.5.4 Perhitungan Initial Cost Sistem Baru

Pada sistem baru dimana penggunaan motor induksi tiga fasa sebagai penggerak utama kapal dan pembangkit listrik tenaga *hybrid* surya generator diesel, variabel *initial cost* adalah berupa biaya investasi awal meliputi komponen penunjang sistem propulsi elektrik dan pembangkit listrik tenaga *hybrid* surya generator diesel seperti tercantum pada tabel 4.16.

Tabel 4.16 Rincian Initial Cost Sistem Baru

No.	Komponen	Unit	Harga Per Unit	Harga
1.	Motor Listrik	1	Rp 270.000.000	Rp 270.000.000
2.	Converter	1	Rp 194.062.500	Rp 194.062.500
3.	Gearbox	1	Rp 40.000.000	Rp 40.000.000
4.	Shaft	1	Rp 55.000.000	Rp 55.000.000
5.	Propeller	1	Rp 50.000.000	Rp 50.000.000
6.	Oily Water Separator	1	Rp 33.750.000	Rp 33.750.000
7.	Oily Bilge Pump	1	Rp 1.277.027	Rp 1.277.027
8.	Ballast - Bilge pump	2	Rp 59.062.500	Rp 118.125.000
9.	Fire pump	2	Rp 35.118.243	Rp 70.236.486
10.	Main Pump	2	Rp 121.500.000	Rp 243.000.000
11.	Stripping Pump	2	Rp 2.349.000	Rp 4.698.000
12.	Generator	3	Rp 3.600.000.000	Rp 10.800.000.000
13.	Baterai	33	Rp 2.533.785	Rp 83.614.905
14.	Panel surya	64	Rp 5.740.906	Rp 367.417.984
15.	solar charge controller	1	Rp 11.203.518	Rp 11.203.518
16.	Inverter	1	Rp 4.086.750	Rp 4.086.750
Jumlah				Rp 12.204.216.833

(sumber: alibaba.com, diakses pada tanggal 25 Mei-17 Juli 2017)

Dari rincian harga pada tabel 4.16 harga komponen termahal adalah generator dan motor listrik yang juga merupakan komponen utama dari sistem baru. Dari rincian komponen pada tabel 4.16 dapat diketahui bahwa komponen dari sistem konvensional berkurang pada sistem baru seperti *MDO transfer pump* dan *LO transfer pump*. Selain itu, dari sistem konvensional ke sistem baru komponen yang digantikan adalah main engine yang digantikan oleh motor induksi tiga fasa. Sehingga rincian *initial cost* tersebut sejumlah Rp. 12.204.216.833.

4.5.5 Perhitungan Biaya Konsumsi Bahan Bakar Sistem Baru

Setelah dilakukan perencanaan penggunaan motor induksi tiga fasa sebagai penggerak utama kapal dan pembangkit listrik tenaga *hybrid* surya generator diesel dimana penggunaan bahan bakar hanya pada generator. Dimana beban suplai yang dibutuhkan lebih besar karena sistem propulsi yang menggunakan motor listrik. Dimana beban daya tersebut sudah dikurangi beban-beban dari peralatan yang tidak perlu digunakan dari sistem konvensional dan ditambahkan dari peralatan yang digunakan pada sistem baru. Peralatan yang ditambahkan seperti *converter*, sel surya, *inverter*, dan *solar charge controller*. Jumlah konsumsi bahan bakar saat kapal dengan sistem baru yang hanya untuk tiga generator dengan daya yang lebih besar tercantum pada tabel 4.17.

Tabel 4.17 Konsumsi Bahan Bakar Sistem Baru Per Tahun

Keperluan	Unit	Power	SFOC	Ton/ jam	Ton/ hari	Ton/ tahun
Generator	3	360	163,33	0,229	5,5	1419,920

Berdasarkan tabel 4.17 dapat diketahui biaya dari konsumsi bahan bakar (*Fuel Oil Consumption*) kapal sistem baru per tahun adalah

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya FOC} &= \text{FOC} \times 1000 \times \text{Harga MFO} \\
 &= 1419,920 \times 1000 \times \text{Rp. 6.350} \\
 &= \text{Rp. 9.016.494.930/ tahun}
 \end{aligned}$$

Dimana, informasi harga keekonomian HSD Solar Industri PT.Pertamina (persero), periode (15-31 Maret 2017) adalah sebagai berikut:
Minyak bakar / MFO (*Marine Fuel Oil*)

Wilayah I	= Rp 6.250,-
Wilayah II	= Rp 6.350,-
Wilayah III	= Rp 6.450,-
Wilayah IV	= Rp 6.600,-

Keterangan:

Area I : Sumatera, Jawa, Bali, Madura

Area II : Kalimantan

Area III : Sulawesi, NTB

Area IV : Maluku, NTT, Irian Jaya

(sumber: www.infohargabbm.com)

Berdasarkan data kapal, pada sistem baru kapal berlayar dengan tujuan yang sama yaitu dari Kalimantan menuju ke Jakarta. Harga MFO yang digunakan dalam perhitungan biaya bahan bakar menggunakan harga wilayah II (kalimantan) sebesar Rp. 6.350/ liternya.

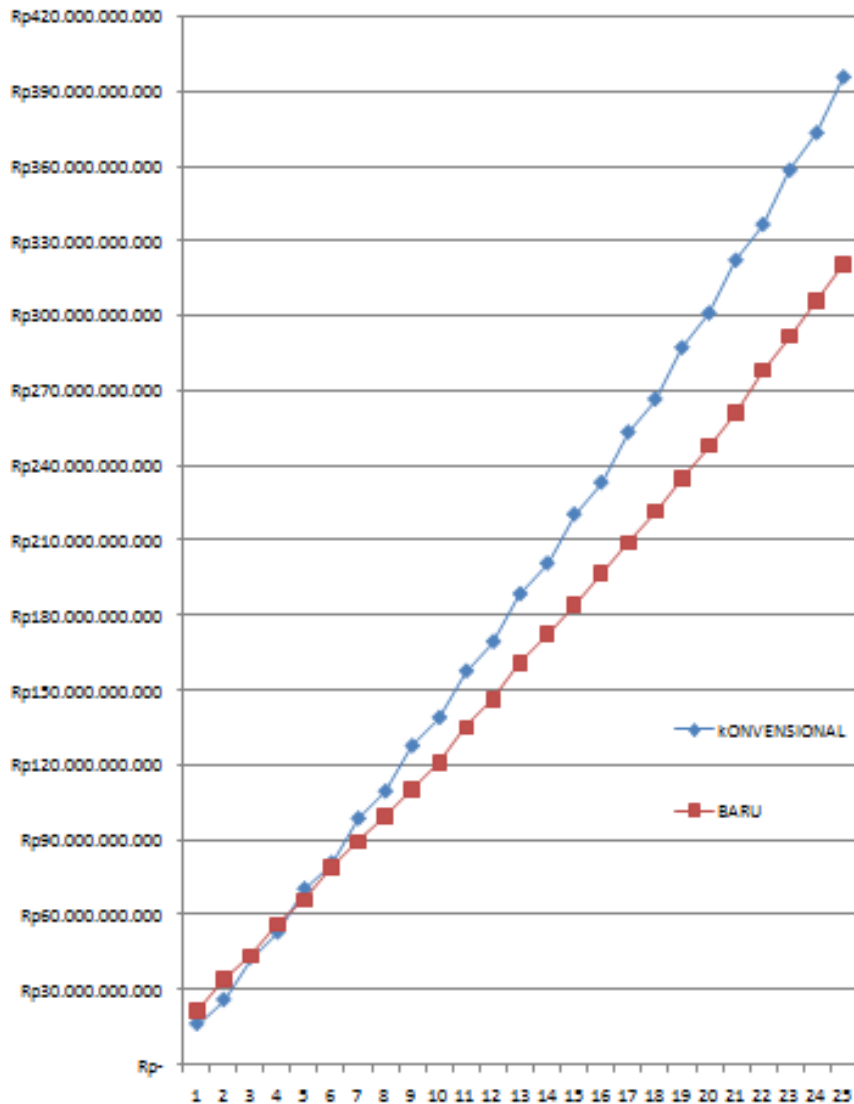
4.5.6 Perhitungan Biaya Operasional Sistem Baru

Cash flow atau kas arus adalah suatu laporan keuangan yang berisikan pengaruh kas dari kegiatan operasi, kegiatan transaksi investasi dan kegiatan pembiayaan atau pendanaan serta kenaikan atau penurunan bersih dalam kas suatu perusahaan selama satu periode (Fish, 1915). Variabel *cash flow* pada perhitungan ini adalah *initial cost* dan biaya konsumsi bahan bakar seperti perhitungan yang telah dilakukan pada sub bab sebelumnya. Sehingga *cash flow* tahun pertama adalah

$$\begin{aligned} \text{Cast flow} &= \text{Initisl cost} + \text{Biaya FOC} \\ &= \text{Rp. } 12.204.216.833 + \text{Rp. } 9.016.494.930 \\ &= \text{Rp. } 21.362.967.100 \end{aligned}$$

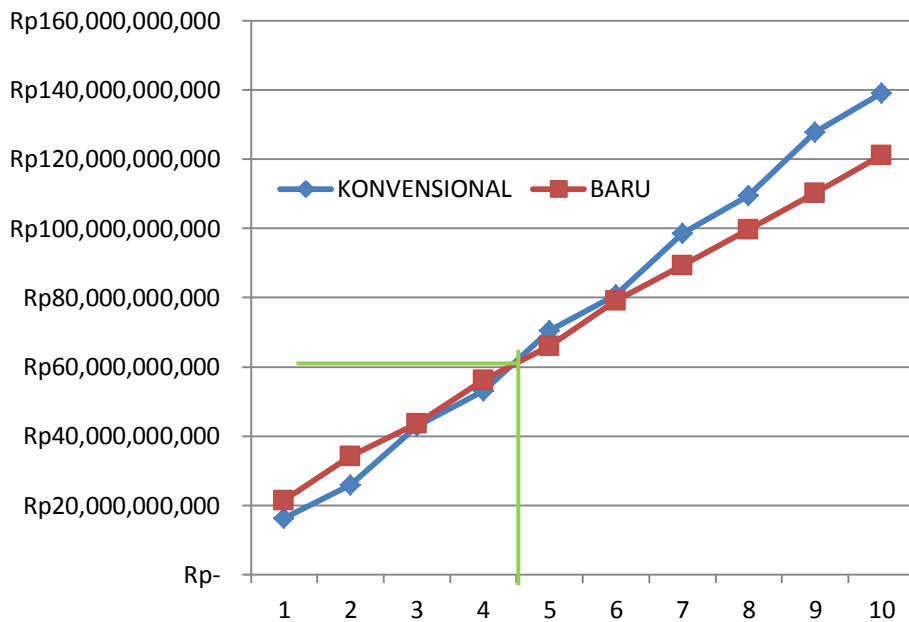
4.5.7 Analisis Break Even Point (BEP)

Break Even Point (BEP) merupakan keadaan dari suatu perusahaan dimana keadaan tersebut perusahaan tidak mengalami kerugian dan juga tidak mendapatkan untung (laba) sehingga keseimbangan atau bisa disebut impas (syaruddin,1990).



Gambar 4.21 Grafik perbandingan biaya operasional sistem konvensional dan baru

Gambar 4.21 adalah grafik yang memperlihatkan perpotongan biaya operasional antara sistem konvensional dengan sistem baru dalam jangka waktu 25 tahun. Dimana sumbu x adalah tahunnya yaitu 1 sampai 25 tahun dan sumbu y adalah biaya operasional dari sistem. Perpotongan biaya akan terlihat jelas bila jangka waktu diperpendek seperti yang terlihat pada gambar 4.22.



Gambar 4.22 Grafik perpotongan biaya

Gambar 4.22 memperlihatkan secara jelas bahwa titik perpotongan biaya antara sistem konvensional dan baru mencapai jumlah yang sama pada tahun 4,5 dengan nilai nominal sebesar Rp. 60.000.000.000,00.

4.5.8 Analisis Penghematan Konsumsi Bahan Bakar

Dari perhitungan konsumsi bahan bakar baik pada sistem konvensional maupun sistem baru pada subbab sebelumnya, saat dilakukan analisis penghematan konsumsi bahan bakar pada kapal.

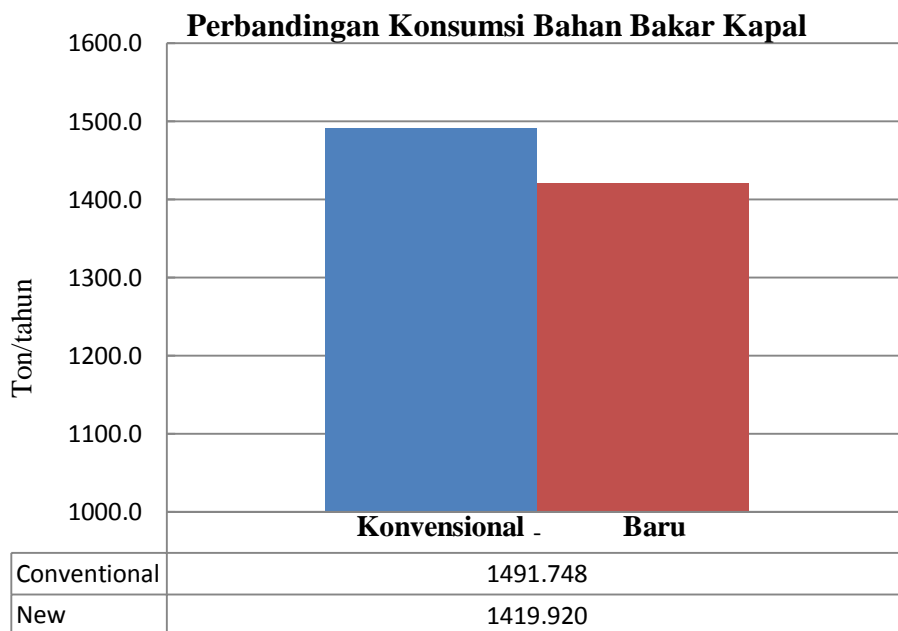
Dimana,

Konsumsi FOC sistem konvensional = 1491,748 ton/tahun

Konsumsi FOC sistem baru = 1419,920 ton/tahun

Besar penghematan bahan bakar pada kapal dari sistem konvensional ke sistem baru adalah

$$\begin{aligned}
 \text{Penghematan} &= \frac{\text{FOC konvensional} - \text{FOC baru}}{\text{FOC konvensional}} \times 100\% \\
 &= \frac{1491,748 - 1419,920}{1491,748} \times 100\% \\
 &= 4,8\%
 \end{aligned}$$



Gambar 4.23 Grafik perbandingan Konsumsi Bahan Bakar

Gambar 4.23 menunjukkan perbandingan konsumsi bahan bakar pada sistem konvensional maupun sistem yang baru. Dari gambar 4.23 konsumsi bahan bakar sistem konvensional sebesar 1491,748 Ton/tahun, sedangkan untuk sistem baru sebesar 1419,920 Ton/tahun. Sehingga selisih perbandingan konsumsi bahan bakar antara sistem konvensional dan sistem baru adalah 71,828 Ton/tahun.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Analisis penggunaan motor induksi tiga fasa sebagai penggerak utama kapal dan pembangkit listrik tenaga *hybrid* (sel surya dan diesel generator) pada kapal tanker 1700 DWT diperoleh hasil sebagai berikut:

1. Penggunaan motor induksi tiga fasa sebagai penggerak utama kapal haruslah menggunakan *speed drive*. Dalam hal ini *speed drive* yang dimaksud adalah *converter*. Converter tersebut terdapat rectifier sebagai penyearah tiga fasa dan inverter sebagai pengubah tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC). Perubahan tersebut dilakukan dengan mengubah kecepatan motor AC dengan cara mengubah frekuensi outputnya.
2. Penghematan konsumsi bahan bakar akibat penggunaan motor induksi tiga fasa sebagai penggerak utama kapal dan pembangkit listrik tenaga *hybrid* (sel surya dan diesel generator) mencapai 4,8% per tahunnya. Pada sistem konvensional bahan bakar akan digunakan untuk mesin diesel (main engine) dan generator, sedangkan untuk sistem baru konsumsi bahan bakar hanya pada generator saja.
3. BEP penggunaan motor induksi tiga fasa sebagai penggerak utama kapal dan pembangkit listrik tenaga *hybrid* (sel surya dan diesel generator) terjadi pada tahun ke 4,5 setelah sistem digunakan. Setelah 4,5 tahun, maka sistem baru dapat lebih menguntungkan.

Menurut hasil analisis teknis dan ekonomis, dapat disimpulkan bahwa penggunaan motor induksi tiga fasa sebagai penggerak utama kapal dan pembangkit listrik tenaga *hybrid* (sel surya dan diesel generator) dapat sangat membantu terciptanya program *ecoship* dimasa mendatang karena sistem ini sangat prospektif bila diterapkan di kapal-kapal.

5.2 Saran

Dalam penelitian tugas akhir ini ada beberapa saran yang perlu diperhatikan antara lain:

1. Pada penelitian selanjutnya disarankan sebaiknya perlu dilakukan eksperimen lebih lanjut yang dapat mendukung kesempurnaan pengambilan suatu data.
2. Pada penelitian selanjutnya disarankan melakukan perencanaan tata letak seluruh peralatan sistem.
3. Pada penelitian selanjutnya disarankan melakukan perhitungan stabilitas pada kapal.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR PUSTAKA

- Anthony, Zuriman. 2015. "Pengaruh Peningkatan Nilai Tahanan Kumparan Stator Terhadap kinerja Motor Induksi 3-Fasa". Jurnal Momentum Vol. 17, No. 2.
- Azzara A., Rutherford., Wang H. 2014. "Feasibility of IMO Annex VI Tier III implementation using Selective Catalytic Reduction". Working Paper ICCT. 4.
- Banartama, ZulfakarA.. 2011. "Sistem Tenaga Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) Yang Dibuat Di Kedubes Austrian".
- Fish, J. 1915. "*Engineering Economics, 1st ed*". New York: McGraw - Hill Book Co., Inc.
- Hasan, Hasnawiya. 2012 "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Pulau Saugi". Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan (JRTK) Vol. 10, No. 2.
- Kyoung-Jun, Lee dkk. 2012. "Hybrid photovoltaic/diesel green ship operating in standalone and grid-connected mode e Experimental investigation". Journal Energy.
- Lubis, Muh. Anang dkk. 2016. "Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa dengan Teknik Artificial Inteligent Berbasis Vektor Kontrol".
- Marpaung A. 2010. "Studi Perancangan Kapasitas Genset Sebagai Cadangan Pada PT. Inti Kimiatama Perkasa. Medan". Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
- Nasution, Syupriadi. 20112. "Amalisis Sistem Kerja Inverter Untuk Mengubah Kecepatan Motor Induksi Tiga Phasa Sebagai Driver Robot". Jurnal Imiah Elite Elektro Vol. 3 No. 2.
- Ningtyas, Dhear Prima Putri A. N.. 2016. "Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik *Hybrid* (Sel surya dan Diesel Generator) pada Kapal Tanker PT. Pertamina (Persero) Perkapalan".
- Sarjan, Muhammad. 2011 "Perbandingan Karakteristik Motor Induksi Belitan Gelung Dengan Belitan Spiral". Jurnal Ilmiah Foristek Vol. 1, No. 1.
- Syafaruddin, A. 1990. "Alat alat dalam pembelian". Yogyakarta: Andi Offset.
- Tugino. 2004. "Faktor Faktor Penggunaan Value Engineering".
- Yogha, Poetra. 2015. "Sistem Propulsi Elektrik".

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Irma Aprillia Roswindha lahir di Surabaya pada 30 April 1995, merupakan anak ketiga dari lima bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Dharma Wanita Persatuan Sidoarjo, SDN Sidoklumpuk Sidoarjo, Madrasah Tsanawiyah Negeri (MTsN) Sidoarjo, SMA Antartika Sidoarjo. Selepas lulus dari Sekolah Menengah Atas pada tahun 2013 penulis melanjutkan pendidikan S-1 di Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS Surabaya dengan NRP. 4213 100 079.

Di Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS penulis mengambil bidang studi *Marine Electrical and Automation System* (MEAS). Di Laboratorium MEAS penulis menjadi member aktif dan sebagai grader atau assist. Praktikum.

Selama masa perkuliahan, penulis juga aktif dalam kegiatan dan organisasi mahasiswa intra kampus. Diantaranya penulis pernah menjadi Staff Departemen Kesejahteraan Masyarakat Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) FTK-ITS periode 2014/2015, kemudian pada tahun selanjutnya penulis menjadi Staff Departemen Media Informasi (MEDFO) Himpunan Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS periode 2015/2016, menjadi panitia Marine Icon tahun 2014 dan tahun 2016. Selain itu penulis juga berkesempatan mengikuti pelatihan pengembangan diri seperti LKMM Pra-TD FTK-ITS, LKMM TD Himpunan Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS, PP LKMM FTK-ITS, PKTI TD Himpunan Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS, PKTI TM FTK-ITS. Penulis juga sempat aktif di beberapa kegiatan seminar yang diadakan di lingkum kampus ITS-Surabaya.